

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 51016 – 2014

非煤露天矿边坡工程技术规范

Technical code for non-coal open-pit
mine slope engineering

2014 – 07 – 13 发布

2015 – 05 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

非煤露天矿边坡工程技术规范

Technical code for non-coal open-pit
mine slope engineering

GB 51016-2014

主编部门：中 国 冶 金 建 设 协 会

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 5 年 5 月 1 日

中国计划出版社

2014 北 京

中华人民共和国国家标准
非煤露天矿边坡工程技术规范

GB 51016-2014



中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 4.5 印张 114 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷



统一书号: 1580242·501

定价: 27.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 495 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《非煤露天矿边坡工程技术规范》的公告

现批准《非煤露天矿边坡工程技术规范》为国家标准，编号为GB 51016—2014，自 2015 年 5 月 1 日起实施。其中，第 3.0.13、6.1.1、11.1.3 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2014 年 7 月 13 日

前 言

本规范是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2008 年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标〔2008〕105 号)的要求,由中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司会同有关单位编制完成的。

在本规范编制过程中,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国内先进标准,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本规范共分 11 章 6 个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、边坡工程勘察、边坡稳定性评价、边坡监测、边坡靠帮过程控制与维护、边坡治理工程设计、边坡治理工程施工、工程检测与验收、安全与环保等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。为提高规范质量,请有关单位在执行本规范过程中注意总结经验、积累资料,随时将有关意见和建议寄交(地址:河北省保定市东风中路 1285 号,邮政编码:071069),E-mail:guifan1@126.com,以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、参加单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司

参 编 单 位:北京科技大学

中钢集团马鞍山矿山研究院有限公司

中国科学院地质与地球物理研究所

武汉大学
中国地质大学(武汉)
中国矿业大学(北京)
包钢集团公司白云鄂博铁矿
中国瑞林工程技术有限公司
中国有色金属工业昆明勘察设计院
天津水泥工业设计研究院有限公司

参 加 单 位:鞍钢集团矿业公司

华北有色工程勘察院有限责任公司
桂林理工大学

主要起草人:李九鸣 王广和 唐辉明 杨书涛 高永涛
王宏志 王哲英 杨占峰 周叔举 马旭峰
王家臣 代永新 伍法权 汪 斌 刘文连
吴顺川 刘新社 肖明贵 周创兵 周杰华
贺 健 温 贵 蒲海波

主要审查人:顾宝和 赵广山 于宝池 王运敏 王艳辉
王慧珍 牛京考 李福申 刘 晓 米子军
沈小克 邵安林 吴 恒 项 勃 姬志勇

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(4)
3	基本规定	(6)
4	边坡工程勘察	(8)
4.1	一般规定	(8)
4.2	可行性研究阶段	(8)
4.3	设计阶段	(9)
4.4	开采阶段	(12)
4.5	工程地质测绘与调查	(13)
4.6	勘探与取样	(15)
4.7	原位测试	(17)
4.8	室内试验	(17)
5	边坡稳定性评价	(20)
5.1	一般规定	(20)
5.2	分析与计算	(20)
5.3	评价与成果报告	(22)
6	边坡监测	(24)
6.1	一般规定	(24)
6.2	变形监测	(25)
6.3	应力监测	(27)
6.4	振动监测	(27)
6.5	降雨和地下水监测	(28)

6.6	滑坡监测	(29)
7	边坡靠帮过程控制与维护	(31)
7.1	一般规定	(31)
7.2	边坡靠帮过程控制	(31)
7.3	靠帮边坡日常维护和变形控制	(32)
8	边坡治理工程设计	(33)
8.1	一般规定	(33)
8.2	疏排水	(33)
8.3	削坡减载	(34)
8.4	锚杆	(34)
8.5	喷锚支护	(37)
8.6	抗滑桩	(37)
8.7	框架梁锚固	(38)
8.8	挡墙	(38)
8.9	其他治理方法	(39)
9	边坡治理工程施工	(41)
9.1	一般规定	(41)
9.2	施工组织设计	(41)
9.3	信息化施工	(42)
9.4	施工险情应急措施	(42)
10	工程检测与验收	(44)
10.1	一般规定	(44)
10.2	质量检验和工程检测	(44)
10.3	验收	(46)
11	安全与环保	(47)
11.1	安全	(47)
11.2	环保	(47)
附录 A	露天矿边坡地质结构分类	(49)
附录 B	露天矿边坡岩体结构面测量要点	(53)

附录 C 露天矿边坡岩体及结构面的力学参数 (54)

附录 D 露天矿边坡稳定性计算方法 (60)

附录 E 露天矿边坡深部位移监测要点 (68)

附录 F 岩石锚杆试验要点及防护网选型 (70)

本规范用词说明 (75)

引用标准名录 (76)

附:条文说明 (77)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(4)
3	Basic requirement	(6)
4	Slope engineering geological investigation	(8)
4.1	General regulations	(8)
4.2	Feasibility study stage	(8)
4.3	Design stage	(9)
4.4	Mining stage	(12)
4.5	Engineering geological mapping and investigation	(13)
4.6	Exploring and sampling	(15)
4.7	In-situ tests	(17)
4.8	Laboratory tests	(17)
5	Evaluation of slope stability	(20)
5.1	General regulations	(20)
5.2	Analysis and computation	(20)
5.3	Evaluation and results report	(22)
6	Slope monitoring	(24)
6.1	General regulations	(24)
6.2	Deformation monitoring	(25)
6.3	Stress monitoring	(27)
6.4	Vibration monitoring	(27)
6.5	Rainfall and groundwater monitoring	(28)

6.6	Landslide monitoring	(29)
7	Process control and maintenance of the near-bank slope	(31)
7.1	General regulations	(31)
7.2	Process control of bank near slope	(31)
7.3	Daily maintenance and deformation control of bank near slope	(32)
8	Design of slope treatment engineering	(33)
8.1	General regulations	(33)
8.2	Drainage	(33)
8.3	Reducing load by cutting slope	(34)
8.4	Anchor bar	(34)
8.5	Shotcrete and rock bolt support	(37)
8.6	Anti-slide pile	(37)
8.7	Frame beams anchorage	(38)
8.8	Retaining wall	(38)
8.9	Other treatment methods	(39)
9	Construction of slope treatment engineering	(41)
9.1	General regulations	(41)
9.2	Design of construction organization	(41)
9.3	Information construction	(42)
9.4	Emergency measures for dangerous situations in construction	(42)
10	Engineering detection and acceptance	(44)
10.1	General regulations	(44)
10.2	Quality inspection and engineering detection	(44)
10.3	Acceptance	(46)
11	Safety and environmental protection	(47)
11.1	Safety	(47)

11.2 Environmental protection	(47)
Appendix A Geological structure classification of open-pit mine slope	(49)
Appendix B Measurement and statistics of rock mass discontinuity of open-pit mine slope	(53)
Appendix C Mechanical parameters of rock and soil mass of open-pit mine slope	(54)
Appendix D Stability calculation methods for open-pit mine slope	(60)
Appendix E Key points for deep displacement monitoring for open-pit mine slope	(68)
Appendix F Key points for testing on rock anchors and design of safety netting system	(70)
Explanation of wording in this code	(75)
List of quoted standards	(76)
Addition; Explanation of provisions	(77)

1 总 则

1.0.1 为在非煤露天矿边坡工程的勘察、评价、设计、监测和治理中,贯彻执行国家有关的技术经济政策,做到安全适用、经济合理、技术先进、确保质量和保护环境,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于黑色金属、有色金属、建材、化工非煤露天矿边坡工程。

1.0.3 露天矿边坡工程应进行边坡工程勘察和稳定性评价,确定矿山边坡的最优边坡角,并提出矿山边坡运行维护的建议。

1.0.4 露天矿边坡治理工程,应坚持动态设计、信息化施工的原则,综合考虑边坡工程安全等级、支护结构类型与施工条件等因素,合理设计,精心施工。

1.0.5 露天矿边坡工程的设计、施工和验收,除应符合本规范要求外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 露天矿边坡 open-pit mine slope

在露天矿采场或其周边,因采矿作业形成的人工边坡和对矿山安全有影响的自然边坡。

2.1.2 台阶边坡 bench slope

矿岩按一定厚度水平分层由上向下逐层采掘时形成的阶梯状边坡。

2.1.3 靠帮边坡 near-bank slope

矿山开采过程中不再推进的工作帮,形成的露天矿最终边坡,也称为固定边坡。

2.1.4 总体边坡 general slope

最上靠帮边坡坡顶线和最下靠帮边坡坡底线之间的所有靠帮台阶坡构成露天矿的最终边坡整体。所对应的边坡角为总体边坡角。

2.1.5 工程地质分区 engineering geological zoning

根据岩性、构造、工程地质和水文地质条件等主要因素基本相同或一致的原则划分的区段。

2.1.6 边坡分区 slope zoning

在同一工程地质分区内,边坡几何要素和坡面产状基本一致并能采用同一的剖面和相同的计算参数来表征的区段。

2.1.7 岩心定向钻探 directional core drilling

通过定向技术确定岩心在原位的方向,并测定岩心中不连续面的几何参数,确定岩心上不连续面产状的钻探方法。

2.1.8 边坡安全系数 factor of slope safety

表征边坡抗滑稳定程度的指标,是抗滑力与滑动力荷载效应组合的比值,也称为边坡稳定性系数。

2.1.9 边坡设计安全系数 factor of safety for slope engineering design

为使边坡达到预期安全程度需要的边坡允许最低安全系数。

2.1.10 最优边坡角 optimal slope angle

保证在矿山服务年限内,总体边坡满足设计安全系数要求并取得最大技术经济效益的最陡总体边坡角。

2.1.11 边坡监测 slope monitoring

对影响边坡稳定性的因素和表征边坡稳定性变化的边坡行为状态定期观测,以判定边坡的稳定性及变化规律。

2.1.12 控制爆破 controlled blasting

采取光面爆破、预裂爆破和缓冲爆破等方法,最大限度地减少爆破振动对边坡稳定性影响的爆破技术。

2.1.13 爆破振动 blasting shake

爆破能量形成的地震波向外传播时引起相关介质质点振动的物理过程。

2.1.14 信息化施工 information construction

结合矿山采掘和边坡治理工程施工现场的地质情况和边坡监测数据,对边坡的地质结论、设计参数进行验证,对施工安全进行判断并及时修正设计与施工方案的施工管理方法。

2.1.15 动态设计 information design

根据边坡信息化施工的反馈信息,进行边坡稳定性复核计算并修正和补充原设计的设计方法。

2.1.16 削坡减载 unloading by cutting slope

通过削减边坡上部荷载,放缓边坡角,改变边坡形状而改善边坡稳定性的方法。

2.1.17 锚杆 anchor bar

通过钻孔将杆体拉力传至稳定岩土层的构件。当采用钢绞线

作杆体材料时,也可称为锚索。

2.1.18 锚固洞塞 anchor caverns

由钢筋混凝土充填的洞塞,将滑面上下两侧岩体锚固在一起,其方向与滑动方向基本平行。

2.1.19 框架梁锚固 anchored framework

锚固在边坡表面的格栅形结构。

2.1.20 柔性防护系统 flexible protection system

将柔性网覆盖在边坡表面防止落石或以栅栏形式固定在边坡下方拦截落石的防护结构。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应:

N_{ak} ——锚杆轴向拉力标准值;

N_a ——锚杆轴向拉力设计值;

H_{tk} ——锚杆所受水平拉力标准值;

u_i ——第 i 滑动条块底面的孔隙水压力;

F_i ——第 i 条块的水平地震惯性力;

P_{fi} ——作用于第 i 条块上的加固力;

F'_i ——第 i 条块爆破动力的水平向等效静力。

2.2.2 材料性能和抗力:

τ ——抗剪强度;

σ ——法向应力;

c ——粘聚力;

ϕ ——摩擦角或等效摩擦角;

f_{rb} ——地层与锚固体粘结强度特征值;

f_b ——钢筋与锚固砂浆间的粘结强度设计值;

f_y ——钢筋或预应力钢绞线抗拉强度设计值;

γ ——岩石的重度;

γ_w ——水的重度。

2.2.3 几何参数:

α ——锚杆倾角;

θ ——滑动面倾角;

β ——最优锚固角;

d ——锚杆钢筋直径;

D ——锚固体直径;

H ——边坡高度;

S_{xj} 、 S_{yj} ——锚杆的水平、垂直间距;

W_i ——第 i 条块的重量。

A_s ——锚杆钢筋或预应力钢绞线截面面积。

2.2.4 计算系数:

K ——安全系数;

γ_0 ——边坡工程重要性系数;

γ_Q ——荷载分项系数;

ξ ——工作条件系数;

JRC ——节理的粗糙度系数;

K_v ——岩体完整性指数;

β_i ——第 i 条块的爆破动力系数;

f ——爆破振动频率。

3 基本规定

3.0.1 露天矿边坡工程勘察宜分阶段进行,并与矿山开采的设计阶段相适应,分为可行性研究阶段边坡工程勘察、设计阶段边坡工程勘察和开采阶段边坡工程勘察。

3.0.2 露天矿边坡应按最终高度分为四级:

- 1 超高边坡: H 大于 500m;
- 2 高边坡: H 大于 300m 小于或等于 500m;
- 3 中边坡: H 大于 100m 小于或等于 300m;
- 4 低边坡: H 小于或等于 100m。

3.0.3 露天矿边坡岩体结构类型应按本规范表 A.0.1 划分,岩体完整程度应按本规范表 A.0.2 划分。

3.0.4 露天矿边坡地质结构和边坡破坏模式应按本规范表 A.0.3 确定。

3.0.5 露天矿边坡危害等级应按表 3.0.5 划分。

表 3.0.5 边坡危害等级

边坡危害等级		I	II	III
可能的人员伤亡		有人员伤亡	有人员受伤	无人员伤亡
潜在的 经济损失	直接	≥ 100 万	50 万~100 万	≤ 50 万
	间接	≥ 1000 万	500 万~1000 万	≤ 500 万
综合评定		很严重	严重	不严重

3.0.6 露天矿边坡工程安全等级应按表 3.0.6 划分。

表 3.0.6 边坡工程安全等级划分

边坡工程安全等级	边坡高度 H (m)	边坡危害等级
I	$H > 500$	I、II、III
	$300 < H \leq 500$	I、II
	$100 < H \leq 300$	I

续表 3.0.6

边坡工程安全等级	边坡高度 $H(\text{m})$	边坡危害等级
Ⅱ	$300 < H \leq 500$	Ⅲ
	$100 < H \leq 300$	Ⅱ、Ⅲ
	$H \leq 100$	I
Ⅲ	$100 < H \leq 300$	Ⅲ
	$H \leq 100$	Ⅱ、Ⅲ

3.0.7 露天矿边坡工程勘察工作内容、工作量及工作方法,应按勘察阶段和边坡工程安全等级确定。

3.0.8 露天矿边坡工程应按边坡分区进行边坡稳定性评价,确定各区最优边坡角,并应提出已有坡角的调整和修正建议。

3.0.9 不同荷载组合下总体边坡的设计安全系数应满足表 3.0.9 规定的安全系数要求。

表 3.0.9 不同荷载组合下总体边坡的设计安全系数

边坡工程 安全等级	边坡工程设计安全系数		
	荷载组合 I	荷载组合 II	荷载组合 III
I	1.25~1.20	1.23~1.18	1.20~1.15
II	1.20~1.15	1.18~1.13	1.15~1.10
III	1.15~1.10	1.13~1.08	1.10~1.05

注:1 荷载组合 I 为自重+地下水;荷载组合 II 为自重+地下水+爆破振动力;
荷载组合 III 为自重+地下水+地震力。

2 对台阶边坡和临时性工作帮,允许有一定程度的破坏,设计安全系数可适当降低。

3.0.10 露天矿边坡治理工程设计支挡结构物服务年限,不应低于矿山服务年限。

3.0.11 露天矿边坡治理工程设计,可分为方案设计、初步设计和施工图设计三个阶段。

3.0.12 露天矿边坡应进行相应监测。

3.0.13 靠帮边坡爆破时,必须采用控制爆破方法,靠帮边坡质点振动速度应小于 24cm/s。

4 边坡工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 露天矿边坡勘察场区按其工程地质条件的复杂程度可分为简单型、中等复杂型、复杂型和很复杂型四种类型。

4.1.2 边坡工程的勘探方法应根据勘察阶段、边坡工程安全等级及边坡工程地质条件确定,勘探以钻探为主,同时可采用井探、槽探、洞探和工程物探。

4.1.3 安全等级为Ⅰ级的边坡勘探应采用岩心定向钻探,安全等级为Ⅱ级的边坡勘探宜采用岩心定向钻探。

4.1.4 钻孔、探井、探槽及探洞,在勘探结束后,除需利用的钻孔外,尚应回填或封堵。

4.2 可行性研究阶段

4.2.1 可行性研究阶段的边坡工程勘察成果应作为矿山开采可行性研究的依据。

4.2.2 可行性研究阶段应搜集和研究下列资料:

1 区域气象、水文、地质、地震等方面的资料,各种比例尺的区域地质图、地形图及其他有关专用图件;

2 标有开采境界或若干个境界方案的地形地质图;

3 矿山技术档案资料,包括矿产储量勘探报告、采场地形地质图、探槽和平洞的地质测绘和编录资料、水文地质资料、物探资料及有关边坡岩体完整性和物理力学性质的资料,调查了解区域地应力情况,中、高和超高边坡所在区域的历史地震资料;

4 勘探钻孔记录和保存的岩心,对有代表性的钻孔应对岩心进行重新编录;

5 岩土工程条件相似的已有边坡勘察资料。

4.2.3 可行性研究阶段边坡工程勘察应符合下列规定：

1 调查场地岩土的种类、成因及滑坡、崩塌等不良地质作用的分布范围及性质；

2 应查明第四纪地层与基岩接触面性状；

3 应初步查明地质构造、结构面类型、产状及其分布，软弱结构面的分布情况，宜判定各边帮边坡破坏模式；

4 应初步查明地表水径流条件及对坡面坡脚的冲蚀作用，并应初步查明地下水埋藏情况和各层岩土的渗透性；

5 应初步确定各岩土层物理力学性质和软弱结构面的抗剪强度，并应初步评价各边帮边坡的稳定性。

4.2.4 对于地质条件属于简单类型的勘察场区，当搜集的资料满足可行性研究要求时，可简化野外勘察工作。

4.2.5 可行性研究阶段的野外工作应以踏勘、专门路线的调查及详细测线测量为主。当因地质条件复杂，搜集的资料不能满足本阶段的勘察要求时，应进行工程地质测绘及槽探、物探等工作。

4.2.6 当存在规模很大的构造，对总体边坡稳定性构成威胁并关系到矿山可否合理开发时，应进行专门的调查研究或专项勘察，予以查明。

4.2.7 可行性研究阶段应调查和分析采场周围的自然边坡、人工边坡以及附近岩溶和地下采空区的岩体崩落状况。

4.2.8 当已有的岩石试验资料不足时，应采取试样进行试验。

4.2.9 可行性研究阶段应根据简要的边坡稳定性计算和综合评价，给出各边帮边坡角的推荐值。

4.3 设计阶段

4.3.1 设计阶段的边坡工程勘察成果应作为矿山设计阶段边坡设计的依据。

4.3.2 设计阶段应搜集下列资料：

1 露天矿山的生产规模、服务年限、初步确定的开采境界和采矿方法、采场要素及参数、采掘工艺、开拓运输方式以及矿山总体布置的说明；

2 露天矿山采掘最终平面图及地质剖面图。

4.3.3 设计阶段边坡工程勘察应符合下列规定：

1 应查明岩体的分布，研究岩体的工程性质，并应划分工程地质岩组，区分软弱岩层和风化破碎带。

2 确定岩层产状，查明勘察场区的构造特征，查明断层、褶皱、密集节理带、岩脉的空间分布状况、组合规律及其工程地质特征，对其中直接影响边坡稳定的大的不连续面应着重研究；查明各组节理和其他成组不连续面的发育程度，确定其优势产状及表征其性质的统计参数。

3 确定可能被滑动面切穿的岩体的抗剪强度和可能构成滑动面的不连续面的抗剪强度。

4 查明风化、侵蚀、滑坡、采空区的地表变形等不良地质作用的分布、成因、发展趋势，判定其对边坡稳定性的影响程度。

5 对安全等级为Ⅰ级的边坡，当处在8度及以上地震烈度地区时，宜进行地震危险性分析，确定设计地震加速度。

6 查明地下水的类型、补给来源、埋藏条件，地下水位、变化幅度及与地表水体的关系，并预测其矿山开采期间的变化趋势。

7 判断地下水对建筑材料的腐蚀性。

8 对勘察场区进行工程地质分区，在此基础上做边坡分区。对各边坡分区进行破坏模式和边坡稳定性计算分析，给出边坡角的推荐值。

9 对稳定程度较低或稳定坡角过缓的边坡提出治理措施和监测的建议。

4.3.4 工程地质测绘应先于其他工程勘探工作进行，测绘成图的比例尺应与本阶段设计所用的比例尺一致。测绘成图范围应包括境界线以外宽 $1/2 \sim 2/3$ 边坡高度的地带。

- 4.3.5** 重要的地质界线应采用适量的钻探、槽探、井探、洞探,也可进行工程物探予以验证。
- 4.3.6** 不连续面资料应在露天矿台阶、地下平洞等岩体出露的地段通过详细测线测量获取。
- 4.3.7** 对安全等级为Ⅰ、Ⅱ级的露天矿边坡,各工程地质分区应布设不少于1条勘探线。勘探线宜垂直于边帮或沿潜在滑坡方向布设,钻孔间距应为50m~100m,且每条勘探线不应少于3个钻孔;对安全等级为Ⅲ级的露天矿边坡,各边帮宜布设勘探线,每条勘探线不宜少于3个钻孔。
- 4.3.8** 钻孔应穿过不连续面或预计的最低可能滑动面,并应深入其下不小于10m。
- 4.3.9** 对于边帮已揭露且继续采深不大的生产矿山,可根据地面调查结果作深部推测。简单型的场区可不进行钻探,中等及其以上复杂场区应进行钻探。
- 4.3.10** 岩层渗透系数的测定可利用形成的钻孔和位于地下水位以下的平洞进行水文地质试验。
- 4.3.11** 各类岩石应进行定性试验和物理力学性质试验。完整岩石和不连续面的力学性质试验应在试验室进行,对于可能构成破坏面的弱面和软弱夹层,应进行原位抗剪试验。试样的选取、原位试验地点的选择和试验方法的采用,应在确定破坏模式的基础上进行。
- 4.3.12** 岩体变形指标可采用钻孔弹模试验、载荷试验、狭缝试验等原位试验方法直接测定。当有适用于本场地的经验数据时,可根据原位弹性波速测试、完整岩石室内变形试验的结果结合经验综合确定。
- 4.3.13** 安全等级为Ⅲ级的边坡可减少试验工作量,简化试验方法,计算稳定性所需的参数可在类比分析的基础上根据经验确定。
- 4.3.14** 采场位于高地应力区且安全等级为Ⅰ级的边坡应进行岩体原位应力测试。

4.3.15 安全等级为Ⅰ级的边坡,可进行岩体的物理模拟试验。

4.4 开 采 阶 段

4.4.1 开采阶段的边坡工程勘察成果应作为矿山采场境界变更或修改设计以及边坡治理的依据。

4.4.2 开采阶段的边坡工程勘察应利用岩体已被揭露的条件和已有的勘察资料,进行工程地质测绘、勘探和试验工作,核查和补充已有的成果资料。

4.4.3 开采阶段边坡工程地质勘察应符合下列规定:

- 1 应查明不稳定区工程地质与水文地质条件;
- 2 应确定不稳定区的破坏模式;
- 3 应确定不稳定区岩土层物理力学指标以及滑动面或潜在滑动面抗剪强度;

4 应对不稳定区边坡进行稳定性计算,并应提出治理措施和监测的建议。

4.4.4 开采阶段应对已形成的台阶进行稳定性调查,标绘出不稳定性区段并预测其变形破坏的发展趋势。

4.4.5 开采阶段可在台阶上进行声波测试,取得浅层岩体的力学性质变化资料,了解岩体破碎、风化程度和爆破松动的范围。

4.4.6 开采阶段应充分利用已埋设的水压计的观测资料、边帮上地下水渗出标高和渗出流量以及炮孔中的水位等资料确定坡体中地下水水位线和流入采坑渗流量,并应核对地下水运动的边界条件和岩层的渗透系数。

4.4.7 对于不稳定区、新圈入境界地段或开挖后地质条件与设计所依据的资料有较大差别的地段,当其深部地质条件需要进一步查明时,除充分利用以往成果外,尚应进行专门的钻探或井、洞探。

4.4.8 勘探线布置应根据不稳定区工程地质条件、地下水情况、潜在滑坡形态、滑移趋势等因素确定。勘探线数量在滑坡主滑方

向上不宜少于 3 条,勘探点间距不宜大于 40m。勘探孔应穿过最下一层滑面,进入稳定岩层。控制性钻孔应深入稳定地层不小于 10m。

4.5 工程地质测绘与调查

4.5.1 边坡工程地质测绘与调查应符合下列规定:

1 应查明地形地貌特征及其与地层、构造、不良地质作用的关系,应确定露天采坑的汇水面积,地表径流系数;应评估地表水对采场的充水影响,应调查采场附近河流的水文数据及其变化规律,应分析采场遭受淹没的可能性。

2 应研究岩石的岩土工程性质及风化破碎情况,并应进行岩土工程岩组划分,确定岩组的分布界线,宜判定岩组的成因、年代和不同岩组的接触关系。

3 应测定岩层产状,判定褶皱类型和褶皱要素,并应调查断层性状,分析区域构造应力场和断层的形成机制,判明有无新构造活动迹象;应进行详细测线测量,调查节理裂隙,对于出露长度大于 30m 的节理应单独标绘;应分析地质构造对地形、水文地质条件及滑坡等不良地质作用的影响;应确定岩体的结构类型。

4 应调查地下水的类型、补给来源、径流、排泄条件,与地表水体的关系,地下水位深度及变化幅度,宜分析勘察场区的水文地质条件与地形、岩性、地质构造之间的关系。

5 应调查台阶边坡的变形与破坏情况及影响因素。

6 宜调查勘察场区附近与边坡地质条件相似的自然山坡,并宜分析其稳定坡角与山坡高度的关系。

7 对滑坡地段的测绘与调查应单独进行,测绘范围应包括滑体周界外侧滑体高度 1 倍~3 倍的距离。滑坡调查及分析应符合下列规定:

- 1) 应确定滑动前的地质条件和原有的台阶或地表形态;
- 2) 应调查和测定滑坡体周界、滑动面位置及其他滑坡要素、

地表水和地下水的作用情况、滑动带的组成、结构面的产状、切割关系和力学属性；

3) 应分析滑坡成因、活动规律,预测滑坡的发展趋势及其受进一步开采的影响程度,并应提出滑坡治理的建议。

8 对崩塌地段的测绘与调查应单独进行,测绘范围应包括崩塌区周界外侧崩塌高度 1 倍~2 倍的距离。调查及分析应符合下列规定:

- 1) 应调查构成崩塌或危岩体的边坡形态和地形条件、坡体变形开裂情况、崩塌历史、地层岩性、坡体结构、结构面组合特征、可能的自然与人为影响因素;
- 2) 应判断边坡发生崩塌或转化为滑坡的危险性及可能的影响范围。

9 对岩溶和地下采空区应单独进行,调查及分析应符合下列规定:

- 1) 应调查岩溶和采空区的分布和规模、形成时间、充填情况、已有塌陷发育特征、形成的地质环境条件;
- 2) 应判定岩溶和采空区的发展趋势,并应提出防治建议。

10 应调查地震与爆破振动震害,应搜集区域构造地质、当地历史地震和现今地震活动等资料,宜调查由地震造成的不良地质作用及其他宏观震害。

4.5.2 工程地质测绘比例尺宜采用 1 : 1000~1 : 2000,对边坡有重大影响的地质单元体,滑坡工程地质测绘比例尺宜采用 1 : 200~1 : 500。

4.5.3 地质观测点的布置应符合下列规定:

1 在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、标准层和每个地质单元体,应布置地质观测点;

2 地质观测点的密度,应根据场地地形、地貌、地质条件、成图比例尺及工程特点等因素综合确定;

3 地质观测点,应充分利用天然和人工露头,当露头少时,宜

布置一定数量的探槽揭露。

4.5.4 地质观测点定位方法和精度应符合下列要求：

1 当所用地形图的比例尺小于 1：2000 时，可采用半仪器法，对重要控制性观测点宜采用仪器法；

2 当所用地形图的比例尺大于或等于 1：2000 时，应采用仪器法；

3 地质界线、地质观测点测绘精度在图上的误差应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 。

4.5.5 详细测线应按不同的方向布置在勘察场区各地段。在三度空间出露的岩体应布置测站。

4.5.6 调查成组不连续面的详细测线每条长 20m～30m。测量时须将所有与测线相交的不连续面逐一量测，但长度小于 2m 的可以舍去。对于平行密集的不连续面可每 10 个面记录 1 个，并予以说明。

4.5.7 详细测线测量应记述的内容包括：不连续面类型、产状、粗糙度、起伏度、间距、长度、开度、搭接关系、充填状况、流水情况、岩石硬度等。

4.5.8 详细测线测量的结果应及时整理，将不连续面按类型和产状分组。根据各组的发育程度、贯通情况及对边坡稳定性的影响，划分等级次序，确定出优势组、软弱组和产状不利组。对产状不利的不连续面应在野外再次复核，补充搜集资料。边坡岩体结构面测量与统计可按本规范附录 B 执行。

4.5.9 在不同的工程地质分区和边帮的不同部位，对产状不利的不连续面，每组测得数量不应少于 150 个；对其他组的不连续面，每组不应少于 100 个。

4.6 勘探与取样

4.6.1 钻孔的孔径不宜小于 76mm，试件尺寸应符合现行国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。进行岩心

定向钻探时,应使用双重岩心管;当需取断层破碎带原状材料时,宜使用对开式双重或三重岩心管。

4.6.2 定向段岩心采取率应达到 100%,定向成功率应达到 95% 以上。

4.6.3 钻探过程中,应记录冲洗液和地下水情况;每班开始工作前均应测量水位。

4.6.4 岩心应按工程地质要求编录,对定向岩心应单独测记不连续面的方向角和构造角。岩心应以正交角度拍摄彩色照片。

4.6.5 当覆盖层厚度小于 3m,应准确查明岩性分界线、构造线、破碎带宽度、软弱结构面位置时,可采用槽探。

4.6.6 对探槽、探井和探洞的底和帮均应进行详细素描和编录。

4.6.7 物探宜与工程地质测绘和钻探相互配合进行,所采用的物探方法可根据工程要求、探测对象的地球物理特性和场地地形地质条件等因素确定。

4.6.8 对物探实测资料,应结合有关地质情况进行综合分析,并提出地质解释成果。

4.6.9 原状样取样应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

4.6.10 岩土试样的数量应符合下列规定:

1 一般性的物理力学指标宜在钻孔内取样进行试验室岩、土试样试验,每个单元层的土样数不应少于 6 件,岩石试样不应少于 9 件;

2 场地的岩体弱面(带)抗剪强度指标应进行岩土室内试验测定,每一类弱面(带)的试样数不应少于 9 件。

4.6.11 土样的采取应符合下列规定:

1 土样可在钻孔、探井、探槽中采取;

2 软弱土层应连续取样;

3 土样应密封送交试验室,运输中应避免振动。

4.6.12 岩石试样的采取应符合下列规定:

1 岩石试样可在钻探岩心中选取或在探井、探槽、竖井、平洞中刻取；

2 毛样尺寸应符合试样加工的要求，其数量应符合试验项目的要求；

3 试样应标注可能滑移方向，软质岩石试样应及时密封；

4 有特殊要求时，试样形状、尺寸和方向应按岩石力学试验要求设计确定。

4.6.13 所有不连续面试样在送交试验室时，均应附以说明，内容包括试样编号、岩石和不连续面类型、不连续面产状、剪切方向、粗糙度和试验组别。

4.7 原位测试

4.7.1 原位测试应根据露天矿边坡稳定性评价对岩土体参数的要求、边坡勘察阶段和测试方法的适用性等因素，选用下列方法：

1 现场定性分类试验可采用点荷载试验、回弹仪试验、浸水效应试验、钻孔波速测试等；

2 岩体的变形试验可采用承压板试验、钻孔变形试验；

3 岩体强度的确定可采用岩体结构面直接剪切试验、岩体直接剪切试验；

4 岩体的渗透性试验可采用抽水、注水、压水等水文地质试验。

4.7.2 原位测试方法应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。

4.8 室内试验

4.8.1 岩石室内试验应包含下列项目：

1 干密度或湿密度、吸水率、孔隙率试验。

2 单轴和三轴抗压强度、抗拉强度（劈裂试验）、抗剪断强度、

弹性模量、泊松比试验。

3 天然不连续面和磨光面抗剪强度试验。

4 断层破碎带及不连续面充填物抗剪强度试验。

4.8.2 试验项目宜符合表 4.8.2 规定的内容,试验数量应根据边坡的地质条件、规模、重要性确定。试验样品应具有代表性。

表 4.8.2 边坡岩石物理力学性质试验项目表

岩土种类	试 验 项 目	
岩石(包括硬质岩、软质岩及软弱夹层)	成分测定	矿物成分
		化学成分
	物理性质	含水率
		颗粒重度
		块体重度
		孔隙率
		吸水率
	水理试验	耐崩解性
		渗透系数
		软弱夹层渗透变形
	力学性质	单轴抗压强度
		三轴抗压强度
		抗拉强度
		直剪试验
		变形试验

4.8.3 主要岩土层和软弱层应采集试样进行物理力学试验,土的抗剪强度指标宜采用三轴试验获取。

4.8.4 对软质岩石应研究其抗水性;对具有膨胀性的岩石,应进行崩解性、膨胀率及膨胀力的测定;对具有蠕变特性的岩石应作岩石的蠕变试验。对抗水性弱的岩石或经常处于湿润状态的岩石,其试件应在饱水状态下进行力学强度试验。

4.8.5 直剪试验最大一级法向压力及三轴试验最大一级围压的选择应符合试样在坡体中的负荷水平。对于直剪试验,应分别测定峰值强度和残余强度。

4.8.6 岩石的抗拉强度宜采用劈裂法测定。

4.8.7 对不连续面间的充填物进行试验时应保持其原有的状态。评价断层破碎带的强度应取其最软弱的部分进行试验。

5 边坡稳定性评价

5.1 一般规定

5.1.1 对下列边坡进行稳定性评价应结合不同勘察阶段的技术要求进行。

- 1 矿山最终边坡；
- 2 开采期间坡率或坡形变化较大的靠帮边坡；
- 3 开采期间出现失稳迹象的边坡。

5.1.2 边坡稳定性评价应在定性分析的基础上定量计算,综合进行评价。

5.1.3 边坡破坏模式应根据边坡地质结构和边坡潜在破坏的组合情况确定,并按破坏模式选择相应的计算方法,确定计算参数,进行边坡稳定性计算。

5.1.4 边坡稳定性计算应以极限平衡法为主,以安全系数作为主要评价指标,计算方法可按本规范第 D.1 节的规定选择。

5.1.5 对安全等级为Ⅰ级的边坡,宜采用有限元等数值分析方法,进行边坡的应力场和变形场分析。

5.1.6 对安全等级为Ⅰ级的边坡,宜采用数值分析法进行边坡的渗流分析。

5.2 分析与计算

5.2.1 边坡稳定性应按边坡分区分别选择代表性剖面进行二维分析与计算,对三维效应明显的Ⅰ级边坡,宜采用三维稳定性分析方法验算其稳定性。

5.2.2 稳定性计算时,应先采用图解法、工程类比法等方法对边坡破坏模式、稳定状态和破坏趋势作出初步判定,然后再选用相应

的方法进行计算。

5.2.3 边坡破坏模式和破坏边界应根据边坡各种地质界面、地质结构类型及其空间组合特征为基础进行综合判定,并应论证剪断相对软弱岩体的可能性。

5.2.4 露天矿边坡应分别按不同荷载组合进行边坡稳定性计算,计算结果应符合本规范表 3.0.9 的规定。

5.2.5 爆破振动力和地震力荷载可采用拟静力法,按本规范第 D.2 节的规定取值,地震动峰值加速度应符合现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的有关规定。

5.2.6 对存在多种破坏模式或多个滑动面的边坡,应分别对各种可能的破坏模式或滑动面进行稳定性计算,并应以最小安全系数作为边坡安全系数。

5.2.7 岩质边坡中不同性质的结构面抗剪强度取值应符合下列规定:

- 1 硬性结构面抗剪强度应取峰值强度最小值的平均值;
- 2 软弱夹层及软弱结构面抗剪强度应取屈服强度;
- 3 泥化夹层抗剪强度应取残余强度。

5.2.8 岩体结构面的抗剪强度参数应根据室内不连续面剪切试验、现场原位试验和本规范第 C.1.1 条等方法综合确定。无条件进行试验的,可按本规范第 C.1.2 条确定。

5.2.9 岩体抗剪强度指标应采用室内试验、原位试验等方法确定,无条件进行试验的,可采用反演分析、经验类比及本规范第 C.2 节规定的方法综合分析确定。

5.2.10 碎裂岩体边坡、散体介质边坡,当破坏模式为圆弧形破坏时,宜采用简化毕肖普法、摩根斯坦—普赖斯法进行稳定性计算;当破坏模式为复合型破坏时,宜采用摩根斯坦—普赖斯法、不平衡推力传递法进行稳定性计算。

5.2.11 块状岩体边坡和层状岩体边坡,破坏模式为复合型破坏或折线型破坏时,宜采用萨尔玛法和不平衡推力传递法进行稳定

性计算;对两组及两组以上结构面切割形成的楔形破坏模式边坡,宜采用楔体法进行稳定性计算。

5.2.12 层状岩体边坡的倾倒变形或溃屈破坏,应以工程地质定性和半定量分析为基础,进行稳定性分析与计算。

5.2.13 块状岩体边坡等的崩塌破坏,应根据划定的危岩体和不稳定岩体范围,采取定性及半定量的分析方法,评价其稳定状况。

5.2.14 影响边坡稳定的主要因素,尤其是可控因素,应进行敏感性分析。

5.3 评价与成果报告

5.3.1 边坡稳定性评价应包括下列内容:

- 1 边坡稳定状态的定性判断;
- 2 边坡稳定性计算;
- 3 边坡稳定性综合评价和发展趋势分析;

4 确定各分区最优边坡角。对露天矿边坡治理工程,应提出相应的工程措施和建议,并确定满足设计安全系数的支护结构抗力。

5.3.2 各分区边坡设计安全系数,应根据边坡安全等级、边坡服务年限、各边坡分区的重要程度等因素,按本规范表 3.0.9 确定。

5.3.3 露天矿各边坡分区的最优边坡角应根据边坡稳定性评价结果确定。

5.3.4 最优边坡角的确定宜考虑边坡工程治理措施对提高边坡稳定性的作用,并分析通过工程措施加陡最优边坡角的可能性。

5.3.5 在采场边坡上方存在自然山坡或废石堆场时,应对其稳定性进行评价,并预测可能发生滑坡或崩塌所造成的影响。

5.3.6 露天开采转地下开采,或采场边坡下存在坑道等地下采空区分布时,应评价其对边坡稳定性的影响。

5.3.7 边坡稳定性评价成果报告根据不同勘察阶段的技术要求,可包括下列内容:

- 1 任务要求及勘察工作概况；
- 2 区域和勘察场区气象、水文、地形、地层、岩性、构造、地震等自然和地质概况；
- 3 采场工程地质条件：工程地质岩组特性，构造特征，不连续面的产状、分布及性质，水文地质条件，人工及自然边坡稳定状况；
- 4 工程地质分区、边坡分区及破坏模式；
- 5 岩石物理力学性质，岩体和不连续面抗剪强度；
- 6 稳定性计算的有关条件和参数；
- 7 边坡稳定性分析与评价；
- 8 结论与建议。

5.3.8 边坡稳定性评价成果报告应相应附下列图表：

- 1 工程勘察实际材料图；
- 2 具有工程地质分区的工程地质图；
- 3 具有边坡分区的开采终了地质结构分析图；
- 4 台阶边坡、自然边坡、滑坡及岩溶和地下采空区的调查图件；
- 5 工程地质剖面图；
- 6 各边坡分区计算剖面图；
- 7 钻孔综合柱状图；
- 8 成组不连续面极点图及极点等密度图；
- 9 有关测试图表；
- 10 其他。

6 边坡监测

6.1 一般规定

6.1.1 露天矿靠帮边坡必须进行变形监测。

6.1.2 边坡监测内容和方法应根据边坡工程安全等级按表 6.1.2 的规定选择。

表 6.1.2 边坡监测内容和方法

监测项目	监测内容	测点布置	边坡工程安全等级		
			I 级	II 级	III 级
变形监测	地表水平位移和垂直位移	采场境界线外坡顶、 边坡表面、裂缝、 滑带支护结构 变形部位	应测	应测	应测
	裂缝、错位		应测	应测	应测
	边坡深部变形		应测	应测	应测
	支护结构变形		应测	应测	宜测
应力监测	边坡应力	边坡内部	应测	应测	可测
	支护结构应力	结构应力最大处	应测	宜测	可测
振动监测	爆破振动监测	爆破振动影响区	应测	应测	宜测
水文监测	降雨监测	采场范围	应测	宜测	可测
	地表水监测	溢流位置	应测	宜测	可测
	地下水监测	出水点、滑面部位	应测	宜测	可测

6.1.3 边坡监测方案设计应根据边坡的应用类别、安全等级和地质条件编制。监测实施方案应明确监测目的、监测项目、监测方法、测点布置及预警值等内容。

6.1.4 变形监测断面和测点应根据边坡地质条件与工程特点,分区段设置,并应符合下列规定:

1 I级边坡监测断面不应少于2个;

2 II、III级边坡监测断面不应少于1个;

3 每个监测断面上的地表位移监测点不应少于3个,地下水位监测点不应少于2个,其他监测项目测点不应少于1个;

4 地质条件复杂的区段应增设监测断面或者测点。

6.1.5 监测仪器选型应根据边坡监测等级要求,所选监测仪器的量程和精度应满足监测等级要求。

6.1.6 监测装置及监测点位应有防护措施,并应设置明显的标识。

6.1.7 边坡监测应采用固定观测地点、固定观测仪器和设备、固定观测人员的固定观测方法。

6.1.8 对安全等级为I、II级的边坡,应结合采场大地测量基本控制网,设置GPS监控站。

6.1.9 具有滑移趋势和已经滑动的I级和II级边坡应进行实时监测预警。

6.1.10 边坡监测数据达到预警值时应反馈。

6.2 变 形 监 测

6.2.1 露天矿边坡应进行边坡变形监测和支护结构变形监测。其中边坡变形监测应包括地表位移监测和深部位移监测。

6.2.2 地表水平位移监测网和监测点的精度要求,根据不同的边坡安全等级应符合表6.2.2的规定。

表 6.2.2 边坡地表水平位移监测网和监测点的精度要求

监测等级	监测网	监测点	适用的边坡安全等级
	相邻点点位中误差(mm)	点位中误差(mm)	
三等	± 3	± 6	I、II
四等	± 6	± 12	III

6.2.3 地表垂直位移监测网和监测点的精度要求,应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 边坡地表垂直位移监测网和监测点的精度要求

监测等级	监测网	监测点	适用的边坡安全等级
	相邻点点位中误差(mm)	点位中误差(mm)	
四等	±1	±4	I、II
五等	±2	±8	III

6.2.4 监测网和监测点的初次观测,应在埋设标石 10d~15d 后进行。

6.2.5 边坡变形监测频率应根据边坡位移速率和季节来确定。新布设点一周内每天应观测 1 次;位移趋于稳定后每月应观测 1 次~2 次,雨季适当增加观测次数,暴雨前后增加观测密度。在边坡位移剧烈时,每日观测不应少于 2 次。

6.2.6 监测网的观测应定期进行,建网的初期宜每个月观测 1 次,一年后可每三个月观测 1 次。当有异常情况时,应随时进行观测。

6.2.7 监测期间,个别监测网点和监测点被破坏时,应补救恢复,并应进行监测结果的校核。

6.2.8 钻孔径向位移和轴向位移的量测,监测方法可按本规范附录 E 执行。

6.2.9 地表裂缝错位监测宜采用伸缩仪、位错计等仪器。

6.2.10 变形监测成果应包括下列内容:

- 1 变形监测方案;
- 2 监测仪器的型号、规格和标定材料;
- 3 监测原始资料、变形曲线图、相对变形曲线图、变形速率图;
- 4 变形监测成果分析与评述。

6.3 应力监测

6.3.1 边坡应力监测应进行边坡内部应力监测、支护结构应力监测和锚固应力监测。

6.3.2 监测点的布设应根据边坡岩土性质与支挡结构特点、施工工艺、荷载大小及作用条件综合确定。

6.3.3 应力传感器的选用应符合现场实际要求,量程应大于设计最大压力的 1.2 倍,精度应小于满量程的 0.5%。

6.3.4 传感器埋设前,应对传感器装置进行封闭性检验和标定。

6.3.5 传感器埋设后,应进行检验性观测不少于 5 次,其中应该至少有 3 次连续校差在 2kPa 以下的稳定值。

6.3.6 监测点应选择应力典型断面处布置。

6.3.7 锚杆应力监测时,应选择有代表性的锚杆测定锚杆应力和预应力损失。

6.3.8 锚固力监测应重点布设在地质条件复杂、有代表性的部位。

6.3.9 预应力锚杆的锚固力监测时,监测根数不应少于预应力锚杆总数的 10%。

6.3.10 非预应力锚杆的锚固力监测时,监测根数不应少于非预应力锚杆总数的 5%。

6.3.11 新布设监测点,数据的采集频率不应少于每天 1 次,待稳定后每月应至少采集 1 次。

6.3.12 应力监测成果应包括下列内容:

- 1 应力监测方案;
- 2 监测仪器的型号、规格和标定参数;
- 3 监测原始资料与应力变化曲线;
- 4 监测结果分析与评述。

6.4 振动监测

6.4.1 安全等级为 I、II 级的边坡,应通过爆破振动监测或爆破

试验确定爆破振动对边坡稳定性的影响。

6.4.2 爆破振动监测应进行边坡质点振动速度和振动加速度的监测与测试。

6.4.3 爆破振动监测前应进行仪器的校准与标定工作。

6.4.4 爆破振动监测应在爆破前布设仪器,爆破后应对数据进行分析。

6.4.5 振动监测成果分析应包括下列内容:

1 爆破振动监测方案,包括监测仪器、点位选择与实施采用的爆破参数。

2 监测原始数据。

3 振动监测数据变化曲线:

1)质点振动速度历时曲线;

2)质点振动加速度历时曲线;

3)质点振动位移历时曲线。

4 计算坡面允许质点振动速度下的最大一段控制药量。

5 监测结果分析与评述。

6.5 降雨和地下水监测

6.5.1 露天矿边坡应对降雨、地表水和地下水进行监测。

6.5.2 降雨监测应采用自动气象站或雨量计等计量仪器,对降雨过程、降雨强度、温度进行监测。

6.5.3 地表水监测应采用三角堰等计量仪器,对地表水流量、降水后新出现的涌水点动态等进行监测。

6.5.4 地下水水压的长期监测应选择位于境界线附近受采掘影响较小的钻孔设置水压计,对地下水位、孔隙水压力进行监测。

6.5.5 地下水监测应在观测孔或抽水井中进行,可采用地下水位动态监测仪、立管式水压计和简易水位计。

6.5.6 地下水监测孔的位置应根据水文地质条件、边坡部位和工程条件综合确定。

6.5.7 地下水动态监测应覆盖整个矿山开采期,每月观测不应少于1次;季节变化或数据变化较大时应增加次数。

6.5.8 对采用锚杆或混凝土抗滑结构加固的边坡,应进行地下水的水质监测。

6.5.9 地下水监测成果应包括下列内容:

- 1 监测方案。
- 2 采用仪器规格、参数。
- 3 监测原始资料。
- 4 变化曲线:
 - 1)地下水动态与时间关系曲线;
 - 2)地下水动态与降雨关系曲线;
 - 3)泉流量与降水关系曲线;
 - 4)地下水水位、流量与降水关系曲线。
- 5 监测结果分析与评述。

6.6 滑 坡 监 测

6.6.1 滑坡监测应进行施工安全监测、防治效果监测和动态长期监测,监测数据宜采用自动化方式采集。

6.6.2 滑坡监测应采用多种手段互相验证和补充,可进行地表裂缝位错监测、变形监测、滑坡深部位移监测、地下水监测、孔隙水压力监测和滑坡应力监测。

6.6.3 对于复杂的滑坡防治工程,应建立地表与深部相结合的综合立体监测网。

6.6.4 监测仪器应满足下列要求:

- 1 应选用可靠性和长期稳定性良好的仪器,仪器应具有防风、防雨、防潮、防震、防雷、防腐等与环境相适应的性能;
- 2 仪器的量测范围应与滑坡体变形相适应;
- 3 仪器监测精度和灵敏度应满足监测要求。

6.6.5 滑坡监测系统应包括仪器安装、数据采集、传输、存储和处

理以及预测预报等内容。

6.6.6 施工安全监测应对滑坡体进行实时监控,宜采用 24h 自动定时观测方式,监测点应布置在滑坡体稳定性差或工程扰动大的部位,力求形成完整的剖面。

6.6.7 防治效果监测应结合施工安全和长期监测进行,监测周期不应少于一个水文年,数据采集时间间隔宜为 7d~10d,在外界扰动较大时及暴雨期间,应加密观测次数。

6.6.8 滑坡长期监测宜沿滑坡主剖面进行,监测点的布置可少于施工安全监测和防治效果监测。监测内容应包括滑带深部位移监测、地下水位监测和地面变形监测。数据采集时间间隔宜为 10d~15d。动态变化较大时,可适当加密观测次数。

6.6.9 滑坡监测成果应包括下列内容:

- 1 监测方案。
- 2 监测仪器设备规格、型号及系统功能。
- 3 监测数据原始资料及变形曲线:
 - 1)监测地段工程地质图;
 - 2)监测网布设图;
 - 3)位移历时曲线图;
 - 4)地下水位(水压)历时曲线图;
 - 5)降雨量历时曲线图;
 - 6)其他监测数据图件。
- 4 监测成果分析及评述。

7 边坡靠帮过程控制与维护

7.1 一般规定

- 7.1.1 矿山宜有专人负责有关边坡数据的搜集和整理、边坡日常维护、边坡监测及相关的管理工作。
- 7.1.2 矿山应制定采场边坡靠帮前采掘作业的技术标准和靠帮边坡的技术要求。
- 7.1.3 靠帮边坡爆破作业应选用预裂、光面、缓冲等控制爆破技术,控制最大一段的爆破药量。爆破对边坡及临近建(构)筑物危害严重时,宜部分或全部采用人工开挖方案。
- 7.1.4 边坡裂隙水和地表水应采取疏干或截排水等措施。
- 7.1.5 矿山应制定针对边坡滑塌事故的应急救援预案。

7.2 边坡靠帮过程控制

- 7.2.1 露天矿生产中最终边坡的形成应按开采设计境界要求进行。
- 7.2.2 露天矿预靠帮水平应清理,每一水平靠界前,可采用人工或控制爆破的方法进行坡根清理。
- 7.2.3 靠帮边坡爆破作业应根据边坡工程地质条件和采掘方式,选用临近靠帮边坡的控制爆破方法。
- 7.2.4 选用预裂控制爆破方式时,预裂爆破应超前于主爆区距最终边帮不小于 15m 时进行,并应超前主爆孔不低于 50ms 起爆。
- 7.2.5 选用预裂控制爆破方式时,应结合预裂爆破同时采用缓冲爆破,缓冲爆破宜在临近最终边帮不小于 15m 时使用。
- 7.2.6 露天台阶开采终了时,可根据设计进行台阶并段,并段数目不宜大于 3 个。

7.3 靠帮边坡日常维护和变形控制

7.3.1 最终边帮应预留安全平台和清扫平台。台阶并段时,可将安全平台与清扫平台合并,清扫平台宽度根据确定的边坡角、清扫方式及运输设备的要求确定。

7.3.2 边坡日常维护应利用清扫平台对边坡坡面和平台进行经常性的清扫维护。

7.3.3 矿山应对边坡进行经常性巡视,并应按本规范第 6.2 节的规定,对边坡变形进行监测,并应整理监测资料,反馈监测信息。

7.3.4 露天矿最终边坡的顶部附近不得设置各种类型的堆场、废石场、建(构)筑物。

7.3.5 靠帮边坡应在每一级平台和采场相对汇水区设置截排水沟,将水导出采场。

7.3.6 削坡减载应在边坡稳定性评价的基础上进行。当发现边坡或滑坡体变形有明显变化时,应停止作业,撤离人员和设备,确保人员和设备安全。

7.3.7 无条件对靠帮边坡不稳定岩体进行削坡减载时,可在不稳定体下方靠近坡脚处预留永久性或临时性的岩体支墩。

7.3.8 当日常维护无法消除和控制靠帮边坡的变形,可能出现严重滑坡时,应进行滑坡调查与分析,进行边坡治理。

8 边坡治理工程设计

8.1 一般规定

8.1.1 边坡治理工程设计应根据边坡稳定性评价的结果,结合边坡安全等级、矿山生产的要求进行。

8.1.2 边坡治理工程设计应符合下列要求:

- 1 边坡治理设计应安全可靠、技术可行、经济合理、可操作性强;
- 2 宜结合矿山开采工艺,采用综合治理方式;
- 3 采用的工艺应相对简单、易于实施且处理周期短;
- 4 边坡治理工程实施后,边坡安全系数必须满足设计要求。

8.1.3 边坡治理工程设计应取得下列资料:

- 1 矿山采剥计划图,最终边坡结构图;
- 2 矿山地质勘探资料,边坡稳定性勘察和研究资料;
- 3 设备性能、施工技术、施工经验和施工条件等资料;
- 4 条件类似的边坡工程相关资料。

8.1.4 边坡及滑体治理工程设计,应综合选用削坡减载、疏排水和工程加固方法,并宜优先选用削坡减载、疏排水方法,工程加固宜优先选用锚杆加固。

8.2 疏排水

8.2.1 采场边坡地表排水系统设计应按矿区工程地质与水文地质条件、汇水面积、排水路径、截水沟排水能力等因素确定。

8.2.2 采场边坡地下水排水设计宜采用自流排水、露天排水、井巷排水和联合排水等方式。

8.2.3 采场排水设计应符合下列规定:

- 1 采场排水方式应与采矿工艺相结合;

- 2 采场封闭圈以上宜采用截水沟自流排水方式；
- 3 水文地质条件简单和涌水量不大的露天矿宜采用露天排水方式。
- 8.2.4 潜在滑坡区后缘应设置截水沟,对后缘裂缝应提出遮盖或堵塞措施。
- 8.2.5 支挡结构应设置泄水孔。
- 8.2.6 边坡体疏排水孔应深入至潜在滑裂面以下。

8.3 削坡减载

- 8.3.1 削坡减载应结合采矿设计进行,并应满足边坡稳定性要求。
- 8.3.2 削坡应分台阶设计,并应提出控制爆破施工工艺要求。
- 8.3.3 削坡减载宜与反压坡脚或其他边坡治理方式联合采用。

8.4 锚杆

- 8.4.1 锚杆使用年限不应低于露天矿服务年限,其防腐等级也应达到相应要求。
- 8.4.2 当采场边坡变形控制要求较严格或边坡靠帮后,其稳定性较差时,宜采用预应力锚杆加固补强。
- 8.4.3 采用锚杆加固边坡,应按本规范第 F.1 节进行锚杆基本试验。
- 8.4.4 锚固的形式应根据锚固段所处部位的岩土层类型、工程特性、锚杆承载力大小、锚杆材料和长度、施工工艺确定。
- 8.4.5 锚杆设计应符合下列规定：

- 1 锚杆的轴向拉力标准值和设计值可按下列公式计算：

$$N_{ak} = \frac{H_{tk}}{\cos\alpha} \quad (8.4.5-1)$$

$$N_d = 1.3 N_{ak} \quad (8.4.5-2)$$

式中： N_{ak} ——锚杆轴向拉力标准值(kN)；

H_{tk} ——锚杆水平拉力标准值(kN)；

α ——锚杆倾角($^{\circ}$);

N_a ——锚杆轴向拉力设计值(kN)。

2 锚杆锚固体与岩土层的锚固长度应满足下式要求:

$$l_a \geq \frac{\gamma_0 N_a}{\pi D f_{rb}} \quad (8.4.5-3)$$

式中: l_a ——锚固段长度(m);

γ_0 ——边坡工程重要性系数,安全等级为一级的边坡取 1.1,安全等级为二级的边坡取 1.05,安全等级为三级的边坡取 1.0;

D ——锚固体直径(m);

f_{rb} ——岩土层与锚固体粘结强度特征值(kPa),应通过试验确定;当无试验资料时可按表 8.4.5-1 取值。

表 8.4.5-1 岩石与锚固体粘结强度特征值

岩石类别	f_{rb} 值(kPa)	岩石类别	f_{rb} 值(kPa)
极软岩	135~180	较硬岩	550~900
软岩	180~380	坚硬岩	900~1300
较软岩	380~550		

注:1 适用于注浆强度等级为 M30;

2 适用于初步设计,施工时应通过试验检验;

3 岩土结构面发育时,取表中下限值;

4 岩石类别根据天然单轴抗压强度 f_r 划分: $f_r < 5\text{MPa}$ 为极软岩, $5\text{MPa} \leq f_r < 15\text{MPa}$ 为软岩, $15\text{MPa} \leq f_r < 30\text{MPa}$ 为较软岩, $30\text{MPa} \leq f_r < 60\text{MPa}$ 为较硬岩, $f_r \geq 60\text{MPa}$ 为坚硬岩。

3 锚杆钢筋、钢绞线截面面积应满足下式的要求:

$$A_s \geq \frac{1.4 \gamma_0 N_a}{f_y} \quad (8.4.5-4)$$

式中: A_s ——锚杆钢筋或预应力钢绞线截面面积(m^2);

f_y ——钢筋或预应力钢绞线抗拉强度设计值(kPa)。

4 锚杆钢筋与锚固砂浆间的锚固长度应满足下式要求:

$$l_a \geq \frac{1.6 \gamma_0 N_a}{n \pi d f_b} \quad (8.4.5-5)$$

式中: l_a ——锚杆钢筋与砂浆间的锚固长度(m);

d ——锚杆钢筋直径(m);

n ——钢筋(钢绞线)根数(根);

f_b ——钢筋与锚固砂浆间的粘结强度设计值(kPa),应由试验确定,当缺乏试验资料时按表 8.4.5-2 取值。

表 8.4.5-2 钢筋、钢绞线与砂浆之间的粘结强度设计值 f_b (MPa)

锚杆类型	水泥浆或水泥砂浆强度等级		
	M25	M30	M35
水泥砂浆与螺纹钢筋间的粘结强度设计值 f_b	2.1	2.4	2.7
水泥砂浆与钢绞线、高强钢丝间的粘结强度设计值 f_b	2.75	2.95	3.4

注:1 当采用二根钢筋点焊成束的做法时,粘结强度应乘 0.85 折减系数;

2 当采用三根钢筋点焊成束的做法时,粘结强度应乘 0.7 折减系数;

3 成束钢筋的根数不应超过三根,钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的 20%。当锚固段钢筋和注浆材料采用特殊设计,并经试验验证锚固效果好时,可适当增加锚杆钢筋用量。

8.4.6 锚固力倾角应根据稳定计算得出的最优锚固角,并结合施工工艺确定。最优锚固角可按下式计算:

$$\beta = \alpha - (45^\circ + \phi/2) \quad (8.4.6)$$

式中: β ——最优锚固角($^\circ$);

α ——滑动面倾角($^\circ$);

ϕ ——滑动面摩擦角或等效摩擦角($^\circ$)。

8.4.7 锚索预应力锁定值应根据地层条件及支护结构变形要求确定,宜取轴向受拉承载力设计值的 0.50 倍~0.65 倍。

8.4.8 锚杆注浆应采用高压注浆,注浆材料应为 C30 纯水泥浆或 M30 水泥砂浆。

8.4.9 锚杆内锚固段可采用拉力集中型、拉力分散型、压力分散型,外锚固端可采用墩台式、肋柱式、框架梁形式。

8.4.10 锚杆原材料性能、构造设计及防腐处理,应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的有关规定。

8.5 喷 锚 支 护

8.5.1 喷锚支护设计应符合下列规定：

1 喷射混凝土强度等级不应低于 C20，喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度不应低于 5MPa。

2 挂网锚杆应采用全长粘结锚杆，宜采用矩形或菱形布置，长短交错布置，与钢筋网绑扎或焊接连接。

3 喷射混凝土面层厚度不应小于 50mm，挂钢筋网喷射混凝土厚度不应小于 100mm。挂网钢筋直径宜为 6mm~12mm，钢筋间距宜为 150mm~300mm。

4 喷射混凝土面板应沿边坡纵向每 20m~25m 的长度分段设置竖向伸缩缝。

8.5.2 喷锚支护设计稳定性计算宜采用工程类比法，设计计算应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 的有关规定。

8.5.3 岩质边坡采用喷锚支护后，对局部不稳定块体应采取加强支护的措施。

8.5.4 设计和校核边坡整体稳定性时，不计算喷锚支护提供的抗力。

8.6 抗 滑 桩

8.6.1 抗滑桩桩长宜小于 40m，对于滑面埋深大于 25 m、倾角大于 40°的滑坡，采用抗滑桩阻滑时，应作专项论证设计。

8.6.2 抗滑桩设计应符合下列规定：

1 抗滑桩所受推力可根据滑坡的物质结构和变形滑移特性，分别按三角形、矩形或梯形分布考虑；

2 抗滑桩设计荷载应包括滑坡体自重、渗透压力、地震力；

3 抗滑桩推力应按滑坡滑动面类型选用相应的推力计算公式；

4 抗滑桩受荷段桩身内力应根据滑坡推力和阻力计算；

5 抗滑桩嵌固段桩底端距离露天边帮有效长度不应小于嵌

固段深度；

6 当滑坡推力较大时,宜采用大截面矩形方桩和预应力锚拉桩。

8.6.3 锚拉抗滑桩应符合下列规定：

- 1 锚索与水平面的下俯倾角宜采用 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ；
- 2 锚索锚固段应置于滑动面(带)以下稳定地层；
- 3 锚索锚固力及最佳锚固深度应通过现场拉拔试验确定。

8.6.4 抗滑桩纵向钢筋及箍筋应根据弯矩图和剪力图分段确定，配筋计算及构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

8.7 框架梁锚固

8.7.1 现浇钢筋混凝土框架梁锚固设计应符合下列规定：

- 1 框架梁型式宜选用矩形、菱形；
- 2 钢筋混凝土断面设计应采用简支梁法进行弯矩计算，并采用类比法校核。断面高 \times 宽不宜小于 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$ ，最大不宜超过 $600\text{mm}\times 500\text{mm}$ ；

3 现浇混凝土宜采用 C25 以上强度等级。

8.7.2 框架梁节点锚杆应采用 $\Phi 25\sim\Phi 40$ II 级螺纹钢加工，长度宜为 4m 以上，全粘结灌浆，并与钢筋笼点焊连接；当岩土体较为破碎和易溜滑时，可采用锚管加固；当滑坡整体稳定性差或下滑力较大时，宜采用预应力锚索进行加固。锚固深度应穿过潜在滑动面。

8.7.3 框架梁配筋计算及构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

8.8 挡 墙

8.8.1 挡墙设计宜符合下列规定：

- 1 挡墙选型应根据台阶状况、施工条件综合确定，宜选用仰斜式重力式挡墙和锚杆挡墙；

- 2 采用重力式挡墙高度宜小于 12.0m；
- 3 挡墙墙身材料可采用石砌体、片石混凝土或混凝土，其强度等级及适用范围应符合表 8.8.1 的规定；
- 4 采场靠帮边坡可能沿外倾结构面滑动时，应采用锚杆挡墙支挡结构；
- 5 挡墙的防渗与泄水布置应根据地形、地质条件和坡面出水来源等因素确定。

表 8.8.1 挡墙材料强度等级与适用范围

材料种类	重度 (kN/m ³)	材料最低强度等级		适用范围
		水泥砂浆	混凝土	
片石砌体	22	M7.5		$t \geq -15^{\circ}\text{C}$ 地区
		M10		浸水及 $t < -15^{\circ}\text{C}$ 地区
混凝土或 片石混凝土	23		C15	$t \geq -15^{\circ}\text{C}$ 地区
		—	C20	浸水及 $t < -15^{\circ}\text{C}$ 地区

注：表中 t 为最冷月平均气温($^{\circ}\text{C}$)。

8.8.2 重力式挡墙设计抗滑移和抗倾覆稳定性验算以及地基稳定性验算和结构强度计算，应符合国家现行有关标准的规定。

8.8.3 锚杆挡墙设计计算应包括下列内容：

- 1 侧向岩土压力；
- 2 挡墙内力计算；
- 3 立柱嵌入深度计算；
- 4 锚杆计算和构造设计；
- 5 挡墙、立柱及其基础设计；
- 6 边坡变形控制设计；
- 7 整体稳定性计算；
- 8 施工方案技术要求和监测要求。

8.9 其他治理方法

8.9.1 注浆加固应符合下列规定：

- 1 注浆浆液配合比应经现场试验确定；
- 2 应选用具有较好的可注性、固结收缩小、具有良好的粘结性、抗渗性、耐久性和化学稳定性，且环境污染小、工艺简单、施工操作方便、安全可靠的注浆材料；
- 3 注浆压力不宜超过 2MPa；
- 4 注浆施工质量检验应采用钻孔取心法，检验数量应按注浆孔数每 20 个～30 个孔抽查 1 点，且总数不得少于 3 点，每点取 5 个试样。

8.9.2 锚固洞塞加固应符合下列规定：

- 1 锚固洞塞宜用于岩体坚硬完整的边坡滑面较陡部位，洞轴方向应与滑体的滑动方向平行，布置成向坡内倾斜，轴线与滑面正交。对于利用已有勘探洞等改造形成的或与排水洞等结合使用的锚固洞塞，只宜作为加固措施之一，与其他加固措施共同参与抗滑稳定计算。
- 2 锚固洞塞应核算边坡在洞体内沿次级滑面和沿混凝土与岩土体界面处发生剪切滑动的可能。
- 3 锚固洞塞应根据其受力特点进行断面配筋设计，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。
- 4 锚固洞塞应对顶拱进行回填注浆，必要时对洞周松散区域进行固结注浆，注浆应符合本规范第 8.9.1 条的有关规定。
- 5 锚固洞塞嵌固在稳定岩体内的长度应不小于 2 倍洞宽。

8.9.3 柔性防护系统应符合下列规定：

- 1 柔性防护系统应按其结构形式和防护功能分为主动系统和被动系统两类；防护网构造要求宜按本规范第 F.2 节的规定选择。
- 2 主动系统用于坡面加固和围护；被动系统用于边坡下方以拦截落石。
- 3 主动系统的锚固筋应穿过表层破碎带，并应验算其锚固力。被动系统应保证基础稳定，验算落石动能和弹跳高度，并应根据落石特征和防护目的确定防护能级和系统高度。

9 边坡治理工程施工

9.1 一般规定

9.1.1 边坡治理工程施工应根据施工图设计,结合边坡安全等级、环境、矿山深部采掘、工程地质和水文地质条件等编制施工方案,采取合理、可行、有效的措施保证施工安全。

9.1.2 安全等级为Ⅰ级边坡,其重要的分项工程应编制分项工程施工组织设计。

9.1.3 采场边坡治理施工宜结合采场采剥生产,安排分段、分时施工。

9.1.4 采场边坡工程应采用信息化施工法,并应按本规范第6章的有关规定进行监测。

9.1.5 施工和开采期间获得的工程地质资料、水文地质资料及岩石物理力学指标应反馈设计。

9.2 施工组织设计

9.2.1 边坡工程的施工组织设计应包括下列内容:

- 1 边坡环境、工程地质与水文地质条件、施工条件、工程特点和技术难点;
- 2 组织机构图和职责分工,规章制度和合同工期;
- 3 技术准备、施工所需的设备、材料进场、劳动力安排等计划;
- 4 平面布置,边坡施工的阶段划分、施工程序;
- 5 削坡减载、疏排水、锚固支挡等结构工程施工方案、附属脚手架施工方案、试验与检测及监测方案;
- 6 施工进度计划;

- 7 质量保证体系和措施；
- 8 职业健康管理和施工；
- 9 应急预案。

9.3 信息化施工

9.3.1 采用信息施工法,准备工作应包括下列内容:

- 1 熟悉边坡工程环境资料,掌握工程地质和水文地质特点,了解影响采矿场边坡稳定的地质特征和其他因素;
- 2 掌握设计意图和对施工的特殊要求,了解采矿场边坡治理施工的特点和技术难点;
- 3 了解边帮附近的爆破开采、边坡靠帮情况,可在开挖前采取预加固措施;
- 4 搜集同类边坡工程的施工经验;
- 5 参与制定和实施边坡治理工程结构、边帮重要部位的监测方案。

9.3.2 信息化施工法应符合下列规定:

- 1 施工单位应配合监测单位实施监测,掌握边坡工程监测情况;
- 2 应编录施工现场揭示的地质现状与原地质资料的对比变化图;
- 3 应根据施工方案,按可能出现的不利工况进行边坡稳定性验算和设计校核;
- 4 应建立信息反馈制度,当监测值达到报警值和警戒值时,应向设计、监理、业主通报,并应根据设计处理对策调整施工方案;
- 5 施工过程中出现险情时应按本规范第 9.4.2 节的有关规定进行处理。

9.4 施工险情应急措施

9.4.1 施工时应做好工程结构和边帮环境异常情况的搜集、整理

及汇编等工作。

9.4.2 当边坡变形及变形速率超过设计允许值,边帮出现开裂、掉块等险情征兆时应暂停治理工程的施工和影响区采矿剥生产作业。根据险情原因采取下列应急措施:

- 1 坡脚被动区临时压重;
- 2 对已完成的结构临时加固;
- 3 通报业主申请停止采矿场内的爆破作业;
- 4 做好临时排水、封面处理;
- 5 对险情段加强监测;
- 6 划定危险作业区,将人员、设备撤离危险区。

9.4.3 边坡工程施工出现险情时,应反馈信息,开展勘察和设计资料复审,按施工现状工况验算边坡稳定性。

10 工程检测与验收

10.1 一般规定

10.1.1 采场边坡治理工程应按设计要求进行质量检查、工程检测和工程验收。

10.1.2 采场边坡治理工程应按隐蔽工程验收的规定,现场进行施工过程的检查控制和最终检查、检测,从外观鉴定、实测项目、基本要求方面进行评定。

10.1.3 各种检查、检测和验收记录应随原始资料和成果报告书一并归档。

10.2 质量检验和工程检测

10.2.1 边坡支护结构的原材料质量检验应包括下列内容:

- 1 材料出厂合格证检查;
- 2 材料现场抽检;
- 3 注浆体和现浇混凝土的配合比试验,强度等级检验。

10.2.2 锚杆的质量检验与工程检测应符合下列规定:

- 1 锚杆的质量检验应检查孔位、孔径、锚固角度、锚固段长度、砂浆配合比及强度;
- 2 预应力锚杆应进行锚固力和预应力损失检测;
- 3 锚杆的锚固力应达到设计锚固力的 120% 以上;
- 4 锚杆的质量检验与工程检测应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的有关规定执行。

10.2.3 喷射混凝土的检验与工程检测应符合下列规定:

- 1 面板护壁厚度检测可采用凿孔法或钻孔法,孔数量为每 100m² 抽检一组。

2 检查点喷层厚度 60% 以上不应小于设计厚度,最小值不应小于设计厚度的 50%,厚度平均值不应小于设计厚度。

3 采取直径 100mm 岩心样经加工后,其抗压强度试验值可用作混凝土强度等级评定;直径 50mm 岩样经加工后,其抗压强度试验结果的统计值可供混凝土强度等级评定参考。

10.2.4 抗滑桩的质量检验与工程检测应符合下列规定:

1 抗滑桩的质量检验应检查原材料质量、孔位偏差、桩身断面尺寸、孔底标高、孔的偏斜、嵌固深度、桩身内力、桩顶和桩身位移、钢筋笼焊接、钢筋笼和制作、混凝土强度、桩身质量、桩顶标高。检查方法为目测、尺检、测量、取样试验。

2 成桩深度、嵌固段长度和桩身断面应达到设计要求;充盈系数应满足设计要求;桩身应连续完整;原材料和混凝土强度应符合设计要求;钢筋配置和焊接应符合设计要求。

3 钢筋位置、间距、数量和保护层厚度可采用钢筋探测仪复检,也可采用非破损或局部破损的方法进行校准。

4 抗滑桩可采取低应变动测法检验。

10.2.5 框架梁锚固的质量检验与工程检测应符合下列规定:

1 框架梁锚固质量检验应检查块石、砌筑砂浆或混凝土、钢筋、锚管原材料质量及制作质量;

2 砌石和钢筋混凝土框架梁的质量检验方法应符合现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

10.2.6 注浆加固的质量检验与工程检测应符合下列规定:

1 注浆加固质量检验应检查原材料质量、孔位偏差、孔深、加固范围、加固后岩土体强度、变形和耐久性。

2 对注浆效果的检查,应根据设计提出的要求进行,检验时间应在注浆结束 28d 后进行。

3 注浆效果检测点宜为注浆孔数的 3%~5%,且不应少于 5 个;检测点位置应根据现场条件和检测方法由施工单位和设计单

位共同确定。

4 检验点合格率应大于 90%，且检验点的平均值应达到设计要求。

10.2.7 工程质量检测报告应包括下列内容：

- 1 检测点分布图；
- 2 检测方法与仪器设备型号；
- 3 检测资料整理和分析；
- 4 检测结论。

10.3 验 收

10.3.1 治理工程竣工验收应按设计要求进行，分为初步验收和最终验收两个阶段。在治理工程施工完成之后，应进行竣工初步验收，待试运行期结束后，应再进行竣工最终验收。

10.3.2 采场边坡治理工程验收应提交下列资料：

- 1 任务委托书、合同书、施工图设计、施工组织设计、施工记录和竣工图；
- 2 采场边坡工程位置关系图；
- 3 设计变更通知、重大问题处理文件和技术洽商记录；
- 4 原材料出厂合格证，场地材料复检报告或委托试验报告；
- 5 混凝土强度试验报告、砂浆试块抗压强度等试验报告；
- 6 锚杆抗拔试验报告；
- 7 采场边坡监测报告。

11 安全与环保

11.1 安 全

11.1.1 矿山应有边坡安全管理专职人员检查矿山边坡安全工作,制定好应急处理预案。

11.1.2 爆破施工应按现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的有关规定组织施工,爆破场地至人员及其他维护对象间应保留要求的安全距离。

11.1.3 采场边坡出现滑坡或坍塌迹象时,应立即停止影响区生产作业,撤出相关人员和设备,设立警示标识。

11.1.4 边坡治理期间,应在边坡可能发生滑塌的范围周边设置危险警示标识,禁止无关人员及车辆出入,等竣工验收完毕后方可撤销危险警示标识。

11.1.5 当采掘工程推进至并段台阶,特别是三并段或三并段以上的多并段时,应在确认安全的前提下方可作业。

11.1.6 每个台阶开采终了后,应清理边坡上的悬石、浮石及伞岩等。

11.1.7 施工前应制定安全事故应急救援预案,并宜在施工现场设置临时医务室并配备应急救援设备。

11.1.8 雨季时,矿山应加强对靠帮边坡的安全检查。

11.2 环 保

11.2.1 矿山生产应正确处理资源开发利用与自然生态环境保护的关系。

11.2.2 露天矿边坡的环保设计,应根据当地的自然环境和气象条件,提出有针对性的方案。

11.2.3 对开采终了的台阶边坡,可进行生态恢复和绿化。

11.2.4 露天矿采、剥、排土作业区内道路及辅助道路应定期维护,洒水抑尘。

11.2.5 露天矿剥离物的排放应符合现行国家标准《有色金属矿山排土场设计规范》GB 50421 的有关规定。

附录 A 露天矿边坡地质结构分类

A.0.1 露天矿边坡岩体结构类型应按表 A.0.1 确定。

表 A.0.1 露天矿边坡岩体结构类型

边坡岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特性	边坡工程问题
整体状结构	巨块状 岩浆岩、巨厚层沉积岩、正变质岩	巨块状	以原生结构节理为主,多呈闭合型,裂隙结构面间距大于 1.5m,一般不超过 1 组~2 组,无危险结构面组成的落石掉块	整体性强度高,岩体稳定,可视为均质弹性各向同性体	不稳定结构体的局部滑动
块状结构	厚层状沉积岩、正变质岩、块状岩浆岩、副变质岩	块状柱状	只具有少量贯穿性较好的节理裂隙,裂隙结构面间距 0.7m~1.5m,一般为 2 组~3 组	整体性强度较高,结构面相互牵制,岩体基本稳定,接近弹性各向同性	
层状结构	多韵律的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩	层状板状	有层理、片理、节理,常有层间错动	接近均一的各向异性体,其变形及强度特征,受层面及岩层组合控制,可视为弹塑性体,稳定性较差	可能产生滑塌,岩层弯张破坏及软弱岩层的塑性变形

续表 A.0.1

边坡岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特性	边坡工程问题
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、断层破碎带、片理、层理及层间结构面较发育,裂隙结构面间距 0.25m~0.5m,一般在 3 组以上	完整性破坏较大,整体强度很低,并受断裂等软弱面控制,多呈弹塑性介质,稳定性很差	易引起规模较大的岩体失稳,地下水加剧岩体失稳
散体状结构	构造影响剧烈的断层破碎带,强风化带,全风化带	碎屑状颗粒状	断层破碎带交叉,构造及风化裂隙密集,结构面及组合错综复杂,并多充填黏性土,形成许多大小不一的分离岩块	完整性遭到极大破坏,岩体属性接近松散介质	

注:由火成岩遭受变质作用形成的变质岩称为“正变质岩”,由沉积岩遭受变质作用形成的变质岩称为“副变质岩”。

A.0.2 露天矿边坡岩体完整程度应按表 A.0.2 划分。

表 A.0.2 露天矿边坡岩体完整程度的划分

完整程度	定性划分					定量划分	
	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型	完整性指数 K_v	岩体体积结构面数 J_v (条/m ³)
	组数	平均间距(m)					
完整	1~2	>1.0	结合好或结合一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构	>0.75	<3

续表 A.0.2

完整程度	定性划分					定量划分	
	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型	完整性指数 K_v	岩体体积结构面数 J_v (条/m ³)
	组数	平均间距(m)					
较完整	1~2	>1.0	结合差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构	0.75~0.55	3~10
	2~3	1.0~0.4	结合好或结合一般		块状结构		
较破碎	2~3	1.0~0.4	结合差	节理、裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构	0.55~0.35	10~20
	≥3	0.4~0.2	结合好		镶嵌块状结构		
			结合一般		中、薄层状结构		
破碎	≥3	0.4~0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构	0.35~0.15	20~35
		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂状结构		
极破碎	无序		结合很差		散体状结构	<0.15	>35

注:1 平均间距指主要结构面之间间距的平均值。

2 岩体完整性指数 $K_v = (V_R/V_P)^2$, V_R 为弹性纵波在岩体中的传播速度, V_P 为弹性纵波在岩块中的传播速度。

3 岩体体积结构面数 J_v 指岩体单位体积内的结构面数目(条/m³)。

4 定量指标 K_v 、 J_v 的测试与结构面结合程度的划分应符合现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 的有关规定。

A.0.3 露天矿边坡地质结构类型应按表 A.0.3 划分。

表 A.0.3 露天矿边坡地质结构划分

边坡地质结构类型		特征描述	边坡破坏模式
块状岩体边坡		岩体基本均一, $D_{50}/L_c \geq 0.02$	平面型 楔体型 倾倒型
层状岩体边坡	同倾边坡	$\alpha \leq 30^\circ$; 层面摩擦角 $< \beta \leq$ 边坡角	平面型 折线型
	同倾斜向边坡	$30^\circ < \alpha \leq 75^\circ$; 层面摩擦角 $<$ 组合滑面交线倾角 \leq 边坡角	楔体型
	其他结构边坡	结构面组合不能直接 控制边坡破坏	圆弧形 复合型
碎裂岩体边坡		层状或碎块状岩体, $D_{50}/L_c < 0.02$	圆弧形 复合型
散体介质边坡		强烈破碎、强风化岩体、 软弱蚀变岩体、各类土体	圆弧形 复合型

注:1 α 层面与坡面的倾向夹角($^\circ$); β 层面倾角($^\circ$); D_{50} 坡面 50% 块体块径(m); L_c 可能发生变形破坏边坡的特征高度(m)。

2 变质岩片理面、板理面、对边坡稳定性具有控制性作用的断层面(带)、其他软弱面(带)按层面考虑。

3 较大规模和地质条件变化较大的边坡,应根据具体边坡地质结构变化情况分段划分类型,建立分析模型。

附录 B 露天矿边坡岩体结构面测量要点

B. 0. 1 测量人员应根据边坡中岩体结构的变化按分区逐条详细测线或按定向岩心钻孔逐定向段进行结构面测量。

B. 0. 2 地表详细线测量应符合下列规定：

1 应选择无覆盖基岩露头进行结构面测量,临近最终边帮宜按不同方向均匀布置测线,在具有三度空间易于观测的部位布置测站,消除测量盲区,每一结构变化分区应至少有 3 条测线;

2 测线长度应大于 20m,露头面宽度应大于 4m,每条测线所测节理数宜为 50 条~70 条;

3 详细测线测量内容应包括:岩石类型、结构面类型、粗糙度、开合性、迹线长、结构面和测线交点到测线端点的距离,充填物类型和厚度,地下水状态,岩石硬度,并记录每条测线的坐标、方位、倾伏角等,所测内容均以数字和代码表示。

B. 0. 3 定向岩心段测量应符合下列规定：

1 钻孔定向岩心结构面测量应自地表由浅入深地进行测量统计,然后将深度按岩性构造等基本相同的条件划分若干个区段,按区段进行岩心结构面的统计分析。

2 在进行定向岩心结构面测量的同时,应进行钻孔岩心编录,主要内容应包括:岩心定名,岩心矿物成分、结构、构造、硬度、蚀变状况、风化程度、破碎状况,岩心结构面特征、孔口坐标、孔口至所描述定向岩心段的深度、钻孔的方位角和倾角等、测量岩心结构面的构造角 α 和方位角 β 及通过钻孔测斜所获相应测量区段轴线的倾向和倾角。

附录 C 露天矿边坡岩体及结构面的力学参数

C.1 边坡岩体结构面力学参数

C.1.1 不连续面抗剪强度宜按下列公式计算：

$$\tau = \sigma \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma} \right) \right] \quad (\text{C. 1. 1-1})$$

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20(r/R) \quad (\text{C. 1. 1-2})$$

$$\sigma_j = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4} \right) \sigma_c \quad (\text{C. 1. 1-3})$$

式中： τ ——不连续面抗剪强度(MPa)；

ϕ_r ——岩石残余摩擦角(°)；

JRC ——不连续面粗糙度系数，取值 1~20；

JCS ——不连续面附近岩石单轴抗压强度；

σ ——法向应力(MPa)；

ϕ_b ——岩石基本摩擦角(°)；

r ——风化湿润节理面表面的回弹数；

R ——干燥未风化岩石表面的回弹数；

σ_j ——节理面处的单轴极限抗压强度(MPa)；

σ_c ——岩块单轴抗压强度(MPa)。

C.1.2 岩体结构面抗剪强度指标宜根据现场原位试验确定，试验方法应符合现行国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266的有关规定。当不具备试验条件时，对于二、三级边坡可按表 C.1.2 和折算后的室内试验指标及滑坡反演分析综合确定。

表 C.1.2 边坡岩体结构面抗剪强度标准值

结构面类型	结构面结合程度	内摩擦角 $\phi(^{\circ})$	粘聚力 $c(\text{MPa})$
硬性结构面	胶结的结构面, 结合好	>35	$0.25 \sim 0.15$
	无填充的结构面, 结合一般	$35 \sim 27$	$0.15 \sim 0.10$
	岩块岩屑型, 结合差	$27 \sim 18$	$0.10 \sim 0.05$
软弱结构面	岩屑夹泥型, 结合很差	$18 \sim 12$	$0.05 \sim 0.02$
	泥膜、泥化夹层型, 结合极差	<12	$0.02 \sim 0.002$

- 注: 1 无经验时取表中的低值;
 2 软岩、极软岩取表中较低值;
 3 岩体结构面连通性差取表中的高值;
 4 岩体结构面浸水时取表中的较低值;
 5 表中数值已考虑结构面的时间效应。

C.2 确定露天矿各向同性节理岩体抗剪强度的 RMR 与 GSI 方法

C.2.1 露天矿岩体的质量指标 RMR 可按表 C.2.1 确定。

表 C.2.1 露天矿岩体的质量指标(RMR)

分类参数			数 值 范 围				
1	完整岩石强度 (MPa)	点荷载数 强度指标	>10	$4 \sim 10$	$2 \sim 4$	$1 \sim 2$	<1
		单轴 抗压强度	>250	$100 \sim 250$	$50 \sim 100$	$25 \sim 50$	$0 \sim 25$
		评分值	15	12	7	4	$0 \sim 2$
2	岩石质量指标 RQD(%)		$90 \sim 100$	$75 \sim 90$	$50 \sim 75$	$25 \sim 50$	<25
	评分值		20	15	10	8	5
3	节理间距(cm)		>200	$60 \sim 200$	$20 \sim 60$	$6 \sim 20$	<6
	评分值		20	15	10	8	5
4	节理条件		面很粗糙, 节理不连续, 宽度为 0, 节理面岩石 未风化	面稍粗糙, 宽度小于 1mm, 节 理面岩石 轻微风化	面稍粗糙, 宽度小于 1mm, 节 理面岩石 严重风化	面光滑或含 厚度小于 5mm 的软弱夹层, 节理开口宽度 1mm~5mm, 节理连续	含厚度 大于 5mm 的 软弱夹层, 开口宽度 大于 5mm, 节理连续
	评分值		30	25	20	10	0

续表 C. 2. 1

分类参数			数 值 范 围				
5	地下 水	总条件	完全干燥	湿	滴水	流水	浸泡
		评分值	15	10	7	4	0
6	RMR 总值		100	77	54	34	0~12

C. 2. 2 岩石的地质强度指标(GSI)可按表 C. 2. 2 确定。

表 C. 2. 2 节理岩体地质强度指标(GSI 值)

结构面表面特征		很好: 十分粗糙, 新鲜未风化的结构面	好: 粗糙 微风化, 结构面 有铁质 渲染	中等: 光滑, 中等风 化, 有 蚀变现 象的 结构面	差: 表面有 擦痕, 强风化, 泥膜覆 盖或棱 角碎块	很差: 有擦痕, 强风化, 黏土覆 盖或充 填的结 构面
岩体结构		结构面表面质量由强至弱 →				
	① 完整或整体结构。完整岩体或野外大体积范围内分布有极少的间距大的结构面	90			N/A	N/A
	② 块状结构。紧密结合未扰动岩体, 三组节理相互切割形成立方块体	80	70			
	③ 镶嵌结构。结构体相互咬合, 由四组或更多的节理形成多面棱角块体, 部分扰动		60	50		
	④ 块状/扰动/裂缝。褶曲(挠曲)由棱角块体(结构体)组成, 结构体由许多相互切割的节理切割而成, 层面或片理面连续			40		
	⑤ 风化岩体。块体间结合程度差, 由棱角状或圆状岩块组成的严重碎裂结构岩体				30	
	⑥ 层状/剪切带。由于密集片理或剪切面作用, 只有极少的块体组成的岩体				20	
		N/A	N/A			10

注: 1 N/A 为不可能出现的情况;

2 此表不适用于由结构面控制破坏的情形;

3 有地下水存在的岩体中抗剪强度会因含水状态的变化趋向恶化, 在非常差的岩类中进行岩体开挖时, 遇潮湿条件, GSI 取值应在图中往右移。

C.2.3 RMR 和 GSI 的经验关系应按下式计算：

$$GSI = RMR - 5 \quad (C.2.3)$$

C.2.4 GSI 或 RMR 确定岩体抗剪强度与变形参数应符合下列规定：

1 完整岩石常数 m_i 可按表 C.2.4 确定。

表 C.2.4 按岩组确定完整岩石常数 m_i

岩石类型	岩组		岩石结构			
			粗粒	中粒	细粒	极细粒
沉积岩	碎屑岩类		砾岩 角砾岩	砂岩 (17±4)	粉砂岩(7±2) 杂砂岩(18±3)	黏土层(4±2) 页岩(6±2) 泥灰岩(7±2)
	碎屑岩	碳酸盐类	粗晶石灰岩 (12±3)	亮晶石灰岩 (10±2)	微晶石灰岩 (9±2)	白云岩 (9±3)
		蒸发岩类		石膏 (8±2)	硬石膏 (12±2)	
		有机质类				白垩(7±2)
变质岩	无片状构造		大理岩(9±3)	角闪岩(19±4) 变质砂岩 (19±3)	石英岩(20±3)	
	微状构造		混合岩 (29±3)	角闪岩 (26±6)	片麻岩 (28±5)	
	片状构造			片岩(12±3)	千枚岩(7±3)	板岩(7±4)
火成岩	深成岩	浅色	花岗岩(32±3) 闪长岩(25±5) 花岗闪长岩 (29±3)			

续表 C. 2. 4

岩石类型	岩组		岩石结构			
			粗粒	中粒	细粒	极细粒
火成岩	深成岩	黑色	辉长岩(27±3) 粗粒玄岩 (16±5) 长岩(20±4)			
			斑岩(20±5)	辉绿岩(15±5)	板岩(7±9)	
	喷出岩	熔岩		流纹岩(25±5) 安山岩(25±5)	石英安长岩 (25±3) 玄武岩(25±5)	
		火山 碎岩屑	集块岩(19±3)	角砾岩(19±5)	凝灰岩(13±5)	

注:1 砾岩、角砾岩的 m_i 取值范围很宽,取决于胶结成分的性质和胶结程度,其值变化范围可从相当于砂岩至细粒沉积物。

2 该值是在完整岩石试样上垂直于层面或片理面试验得到。当沿弱面破坏时,则 m_i 值将与点荷载试验值有明显不同。

3 注意表中括号内的值为估计值,不同材料的取值范围取决于结晶构造的粒度和咬合状态,取值越高,对应的结晶颗粒咬合越紧密且摩擦越大。

2 岩体强度可按下列公式计算:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^\alpha \quad (\text{C. 2. 4-1})$$

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (\text{C. 2. 4-2})$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad (\text{C. 2. 4-3})$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (\text{C. 2. 4-4})$$

式中: σ_c ——岩块单轴抗压强度(MPa);

m_b 、 s 和 α ——岩体材料常数;

D ——爆破影响系数,采用常规爆破取 1.0,采用机械开

挖取 0.7, 采用控制爆破可取 0.8~0.9。

3 岩体抗压强度可按下列公式计算:

$$\sigma_{cm} = \sigma_c \cdot \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (C. 2. 4-5)$$

式中: σ_{cm} ——岩体抗压强度(MPa)。

4 岩体抗剪强度指标可按下列公式计算:

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}} \right] \quad (C. 2. 4-6)$$

$$c = \frac{\sigma_c [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma_{3n}](s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + [6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}] / [(1+a)(2+a)]}} \quad (C. 2. 4-7)$$

$$\frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} = 0.72 \left(\frac{1000\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} \quad (C. 2. 4-8)$$

$$\sigma_{3n} = \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_c} \quad (C. 2. 4-9)$$

式中: σ_{3n} ——最大围压与岩块单轴抗压强度的比;

σ_{3max} ——最大围压(MPa);

H ——边坡高度(m);

γ ——岩块重度(kN/m³)。

5 岩体变形模量可按下列公式计算:

$$E_{rm} = E_i \left\{ 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{[(60 + 15D - GSI)/11]}} \right\} \quad (C. 2. 4-10)$$

式中: E_i ——完整岩石的变形模量(MPa);

E_{rm} ——岩体变形模量(MPa)。

附录 D 露天矿边坡稳定性计算方法

D.1 稳定性计算方法

D.1.1 当采用简化毕肖普法(图 D.1.1)计算抗滑稳定安全系数时应按下式计算:

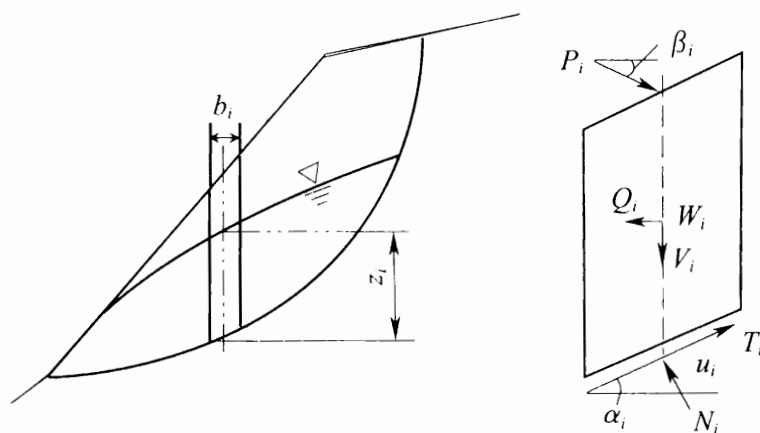


图 D.1.1 简化毕肖普法计算简图

$$K = \frac{\sum \{[(W_i + V_i + P_i \sin \beta_i) \sec \alpha_i - u_i b_i \sec \alpha_i] \tan \varphi'_i + c'_i b_i \sec \alpha_i\}}{1 + \tan \alpha_i \tan \varphi'_i / K} \cdot \frac{1}{\sum [(W_i + V_i + P_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + M_{Q_i} / R - P_i h_{P_i} \cos \beta_i / R]} \quad (\text{D.1.1})$$

式中: W_i ——第 i 条块重量(kN);

V_i ——第 i 条块垂直向地震惯性力(V 向上取“—”, 向下取“+”)(kN);

P_i ——作用于第 i 条块的外力(不含坡外水压力)(kN);

u_i ——第 i 条块底面的单位孔隙压力(kN/m);

b_i ——第 i 条块宽度(m);

α_i ——第 i 条块底面与水平面的夹角(以水平线为起始线,

逆时针为正角,顺时针为负角)(°);

β_i ——第 i 条块外力 P_i 与水平面的夹角(以水平线为起始线,逆时针为正角,顺时针为负角)(°);

c'_i, φ'_i ——第 i 条块底面的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角(°);

M_{Q_i} ——第 i 条块水平向地震惯性力 Q_i 对圆心的力矩(kN·m);

Q_i ——第 i 条块水平向地震惯性力(Q_i 方向与边坡滑动方向一致时取“+”,反之取“-”)(kN);

h_{P_i} ——第 i 条块外力 P_i 水平方向分力对圆心的力臂(m);

R ——滑动面圆弧半径(m);

K ——抗滑稳定安全系数。

D. 1. 2 当采用不平衡推力传递法计算(图 D. 1. 2)抗滑稳定安全系数时,应按下列公式计算:

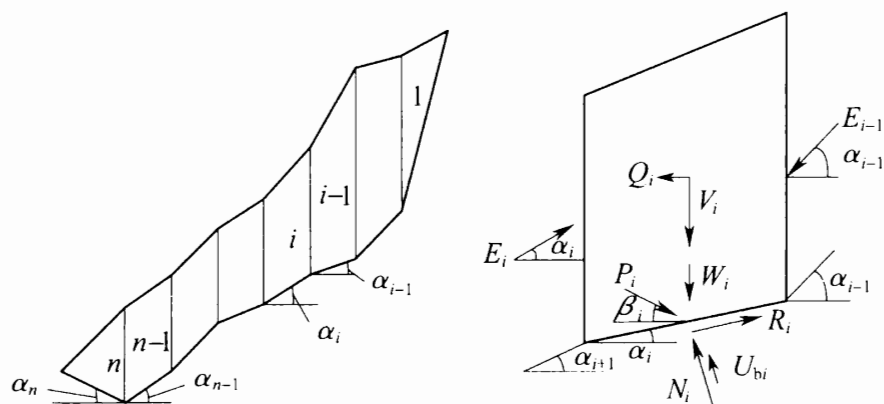


图 D. 1. 2 不平衡推力传递法计算简图

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(R_i \prod_{j=i+1}^n \phi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left(T_i \prod_{j=i+1}^n \phi_j \right) + T_n} \quad (\text{D. 1. 2-1})$$

$$R_i = [(W_i + V_i) \cos \alpha_i - U_{bi} - Q_i \sin \alpha_i + P_i \sin(\alpha_i + \beta_i)] \tan \varphi'_i + c'_i b_i \sec \alpha_i \quad (\text{D. 1. 2-2})$$

$$T_i = (W_i + V_i) \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i - P_i \cos(\alpha_i + \beta_i) \quad (\text{D. 1. 2-3})$$

$$\phi_i = \cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \tan \varphi'_i / K \quad (i=2, 3, \dots, n) \quad (\text{D. 1. 2-4})$$

$$E_i = T_i - R_i / K + \phi_i E_{i-1} \quad (\text{D. 1. 2-5})$$

式中: ϕ_i ——第 i 滑动条块侧面的推力传递系数;

U_{bi} ——第 i 滑动条块底面的孔隙压力(kN);

E_{i-1} ——第 $i-1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条块的推力(kN);

E_i ——第 $i+1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条块的反作用力(kN)与第 i 滑动条块的推力大小相等, 方向相反。

D. 1. 3 当采用萨尔玛法计算(图 D. 1. 3)抗滑稳定安全系数时, 应按下列公式计算:

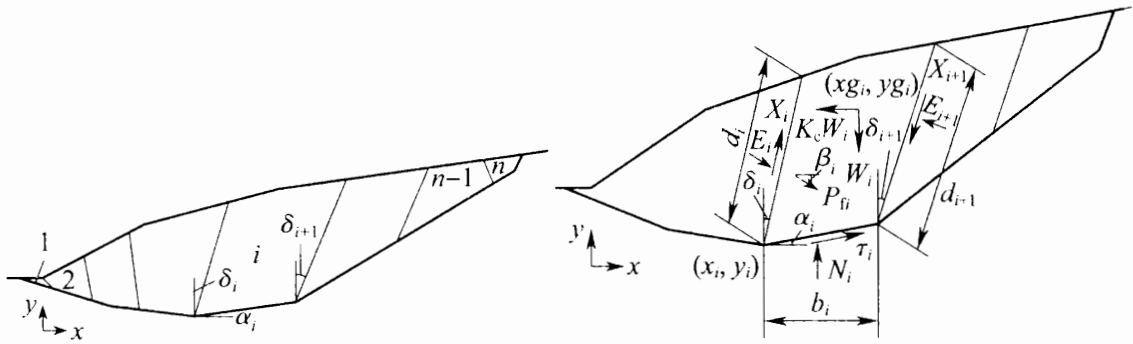


图 D. 1. 3 萨尔玛法计算简图

$$K_s = \frac{a_n + a_{n-1}e_n + a_{n-2}e_n e_{n-1} + \dots + a_1 e_n e_{n-1} \dots e_3 e_2 + E_1 e_n e_{n-1} \dots e_1 - E_{n+1}}{p_n + p_{n-1}e_n + p_{n-2}e_n e_{n-1} + \dots + p_1 e_n e_{n-1} \dots e_3 e_2} \quad (\text{D. 1. 3-1})$$

$$\alpha_i = \frac{R_i \cos \tilde{\varphi}'_{bi} + W_i \sin(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i) + S_{i+1} \sin(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i - \delta_{i+1}) - S_i \sin(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i - \delta_i)}{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i + \tilde{\varphi}'_{si+1} - \delta_{i+1}) \sec \tilde{\varphi}'_{si+1}} \quad (\text{D. 1. 3-2})$$

$$p_i = \frac{W_i \cos(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i)}{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i + \tilde{\varphi}'_{si+1} - \delta_{i+1}) \sec \tilde{\varphi}'_{si+1}} \quad (\text{D. 1. 3-3})$$

$$e_i = \frac{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i + \tilde{\varphi}'_{si} - \delta_i) \sec \tilde{\varphi}'_{si}}{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi} - \alpha_i + \tilde{\varphi}'_{si+1} - \delta_{i+1}) \sec \tilde{\varphi}'_{si+1}} \quad (\text{D. 1. 3-4})$$

$$R_i = \tilde{c}'_{bi} b_i \sec \alpha_i + P_{fi} \cos(\alpha_i + \beta_i) + [P_{fi} \sin(\alpha_i + \beta_i) - U_{bi}] \tan \tilde{\varphi}'_{bi} \quad (\text{D. 1. 3-5})$$

$$S_i = \tilde{c}'_{si} d_i - U_{si} \tan \tilde{\varphi}'_{si} \quad (\text{D. 1. 3-6})$$

$$S_{i+1} = \tilde{c}'_{si+1} d_{i+1} - U_{si+1} \tan \tilde{\varphi}'_{si+1} \quad (\text{D. 1. 3-7})$$

$$\tan \tilde{\varphi}'_{bi} = \tan \varphi'_{bi} / K \quad (\text{D. 1. 3-8})$$

$$\tilde{c}'_{bi} = c'_{bi} / K \quad (\text{D. 1. 3-9})$$

$$\tan \tilde{\varphi}'_{si} = \tan \varphi'_{si} / K \quad (\text{D. 1. 3-10})$$

$$\tilde{c}'_{si} = c'_{si} / K \quad (\text{D. 1. 3-11})$$

$$\tan \tilde{\varphi}'_{si+1} = \tan \varphi'_{si+1} / K \quad (\text{D. 1. 3-12})$$

$$\tilde{c}'_{si+1} = c'_{si+1} / K \quad (\text{D. 1. 3-13})$$

作用于第 i 条块左侧面上的推力 E_i 应按式(D. 1. 3-14)计算:

$$E_i = \alpha_{i-1} - p_{i-1} K_c + E_{i-1} e_{i-1} \quad (\text{D. 1. 3-14})$$

式中: c'_{bi} 、 φ'_{bi} ——第 i 条块底面上的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

\tilde{c}'_{bi} 、 $\tilde{\varphi}'_{bi}$ ——第 i 条块底面上折减后的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

c'_{si} 、 φ'_{si} ——第 i 条块第 i 侧面上的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

\tilde{c}'_{si} 、 $\tilde{\varphi}'_{si}$ ——第 i 条块第 i 侧面上折减后的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

c'_{si+1} 、 φ'_{si+1} ——第 i 条块第 $i+1$ 侧面上的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

\tilde{c}'_{si+1} 、 $\tilde{\varphi}'_{si+1}$ ——第 i 条块第 $i+1$ 侧面上折减后的有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

U_{si} 、 U_{si+1} ——第 i 侧面和第 $i+1$ 侧面上的孔隙压力(kPa);

U_{bi} ——第 i 条块底面上的孔隙压力(kPa);

P_{ti} ——作用于第 i 条块上的加固力(kPa);

δ_i 、 δ_{i+1} ——第 i 条块第 i 侧面和第 $i+1$ 侧面的倾角(以铅垂线为起始线,顺时针为正角,逆时针为负角)($^\circ$);

E_{n+1} ——第 n 条块右侧面总的正压力(kN),一般情况下

$$E_{n+1}=0;$$

E_1 ——第 1 条块左侧面总的正压力(kN),一般情况下

$$E_1=0;$$

K_c ——临界水平地震加速度。

D. 1. 4 当采用楔形体法计算(图 D. 1. 4)抗滑稳定安全系数时,楔体的滑动模式包括单面滑动、双面滑动以及脱离岩体运动,其滑动模式判断与安全系数应按下列公式计算:

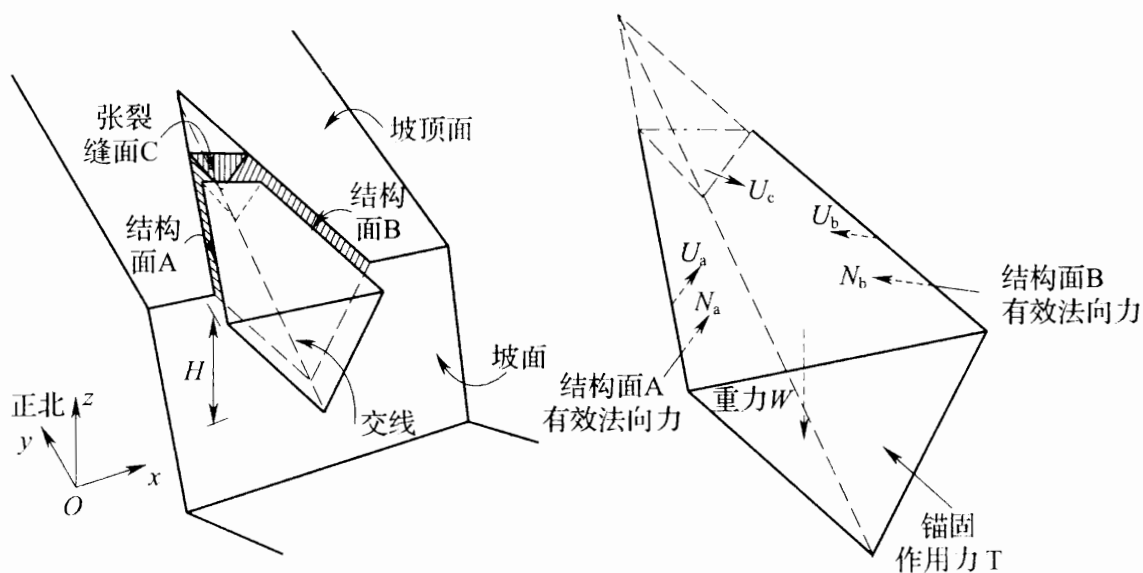


图 D. 1. 4 楔形体稳定分析计算简图

$$N_a = (m_{ab}R \cdot n_b - R \cdot n_a) / (1 - m_{ab}^2) \quad (D. 1. 4-1)$$

$$N_b = (m_{ab}R \cdot n_a - R \cdot n_b) / (1 - m_{ab}^2) \quad (D. 1. 4-2)$$

$$m_{ab} = \sin\psi_a \sin\psi_b \cos(\alpha_a - \alpha_b) + \cos\psi_a \cos\psi_b \quad (D. 1. 4-3)$$

$$R = U_a n_a + U_b n_b + U_c n_c + W_w + T_t \quad (D. 1. 4-4)$$

$$n_a = (\sin\psi_a \sin\alpha_a, \sin\psi_a \cos\alpha_a, \cos\psi_a) \quad (D. 1. 4-5)$$

$$n_b = (\sin\psi_b \sin\alpha_b, \sin\psi_b \cos\alpha_b, \cos\psi_b) \quad (D. 1. 4-6)$$

$$n_c = (\sin\psi_c \sin\alpha_c, \sin\psi_c \cos\alpha_c, \cos\psi_c) \quad (D. 1. 4-7)$$

$$w = (0, 0, -1) \quad (D. 1. 4-8)$$

$$t = (\cos\psi_t \sin\alpha_t, \cos\psi_t \cos\alpha_t, -\sin\psi_t) \quad (D. 1. 4-9)$$

1 当 $N_a > 0, N_b > 0$ 时,楔形体沿结构面 A 和 B 的交棱线滑

动,其安全系数应按下式计算:

$$K = \frac{N_a \tan \phi'_a + c'_a A_a + N_b \tan \phi'_b + c'_b A_b}{|\mathbf{R}(\mathbf{n}_a \times \mathbf{n}_b)| / |\mathbf{n}_a \times \mathbf{n}_b|} \quad (\text{D. 1. 4-10})$$

2 当 N_a 或 N_b 出现负值时,若 N_a 和 N_b 满足 $N_a + m_{ab} N_b \geq 0$, 楔体沿结构面 A 滑动,其安全系数应按下式计算:

$$K = \frac{|\mathbf{R}\mathbf{n}_a| \tan \phi'_a + c'_a A_a}{|\mathbf{R} \times \mathbf{n}_a|} \quad (\text{D. 1. 4-11})$$

3 若 N_a 和 N_b 满足 $N_b + m_{ab} N_a \geq 0$, 楔体沿结构面 B 滑动,其安全系数应按下式计算:

$$K = \frac{|\mathbf{R}\mathbf{n}_b| \tan \phi'_b + c'_b A_b}{|\mathbf{R} \times \mathbf{n}_b|} \quad (\text{D. 1. 4-12})$$

若楔体脱离岩体运动,其安全系数为 0。

式中: A_a 、 c'_a 、 ϕ'_a ——结构面 A 的面积(m^2)、有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

A_b 、 c'_b 、 ϕ'_b ——结构面 B 的面积(m^2)、有效粘聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$);

ψ_a 、 α_a ——结构面 A 的倾角和倾向($^\circ$);

ψ_b 、 α_b ——结构面 B 的倾角和倾向($^\circ$);

ψ_c 、 α_c ——张裂缝面 C 的倾角和倾向($^\circ$);

ψ_t 、 α_t ——锚杆或锚索加固力 T 的倾角和倾向($^\circ$);

U_a ——结构面 A 上的孔隙压力(kN);

U_b ——结构面 B 上的孔隙压力(kN);

U_c ——张裂缝面 C 上的孔隙压力(kN);

W_w ——楔形体重量(kN);

T_t ——锚杆或锚索加固力(kN)。

D. 2 计 算 荷 载

D. 2. 1 抗震稳定计算时,各条块的地震惯性力应按下式计算:

$$F_i = \frac{a \xi \beta_i W_i}{g} \quad (\text{D. 2. 1})$$

式中： F_i ——第 i 条块的水平地震惯性力(kN)；

a ——设计地震加速度(m/s^2)；

ξ ——折减系数，可取 0.25；

β_i ——第 i 条块的动态分布系数，可取 $\beta_i = 1$ ；

W_i ——第 i 条块的重量(kN)；

g ——重力加速度(m/s^2)。

D. 2. 2 边坡稳定计算时，考虑爆破振动力，各条块的水平爆破力可按下列公式计算：

$$F'_i = \frac{a_i \beta_i W_i}{g} \quad (\text{D. 2. 2-1})$$

$$a_i = 2\pi f V_i \quad (\text{D. 2. 2-2})$$

$$V_i = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_i} \right)^\alpha \quad (\text{D. 2. 2-3})$$

式中： F'_i ——第 i 条块爆破振动力的水平向等效静力(kN)；

a_i ——第 i 条块爆破振动质点水平向最大加速度(m/s^2)；

β_i ——第 i 条块的爆破动力系数，可取 $\beta_i = 0.1 \sim 0.3$ ；

W_i ——第 i 条块的重量(kN)；

g ——重力加速度(m/s^2)；

f ——爆破振动频率(Hz)；

V_i ——第 i 条块重心处质点水平向振动速度(m/s)；

Q ——爆破装药量，齐发爆破时取总装药量，分段延时爆破时取最大一段的装药量(kg)；

R_i ——爆破区药量分布的几何中心至观测点或建筑物、防护目标的距离(m)；

K 、 α ——与采场地质条件、岩体性质、爆破条件等有关的系数，由振动检测和测试数据获取。

D. 2. 3 边坡稳定性计算时，岩体的自重浸润线以上应采用天然重度，在浸润线以下应采用浮重度。对有地下水渗流的岩体，采用浮重度计算时，应考虑渗透水压力作用，各条块的渗透水压力可

按下式计算：

$$P_{wi} = \gamma_w V_i J_i \quad (\text{D. 2. 3})$$

式中： P_{wi} ——条块 i 的渗透水压力(kN)；

γ_w ——水的重度(kN/m³)；

V_i ——条块 i 单位宽度岩土体的水下体积(m³)；

J_i ——条块 i 地下水渗透坡降。

D. 2. 4 根据岩质边坡中地下水位线,对边坡体某点的孔隙压力进行估算时,可视岩体性质、结构面的发育及其连通程度,按类似工程经验,对其水头进行折减。

D. 2. 5 对降雨造成边坡坡体表层一定深度范围内形成暂态饱和区的情况,在计算孔隙压力时,宜进行折减。

D. 2. 6 加固措施提供的外力计算应符合下列规定：

1 预应力锚杆提供的锚固力 P_i 可施加在其穿过的滑动面那一点所处条块的底面上,其他条块上 $P_i = 0$ ；

2 抗滑桩提供的外力 P_i 应施加在抗滑桩所处的条块上,其他条块上 $P_i = 0$ ；

3 沿滑动方向布置的抗滑洞塞提供的外力 P_i 所施加的方法应按本条第 1 款的规定,沿滑动面走向布置的抗滑洞塞提供的外力 P_i 的施加方法可按本条第 2 款的规定；

4 挡墙提供的外力 P_i 施加的方法应按本条第 2 款的规定；

5 若抗滑桩、挡墙等与预应力锚杆联合运用,所提供外力施加的方法应分别按照抗滑桩、挡墙等与预应力锚杆分别施加。

附录 E 露天矿边坡深部位移监测要点

E. 0. 1 露天矿边坡深部位移的监测宜采用钻孔引伸仪、钻孔倾斜仪和时间域反射测试方法,在采场台阶或滑坡体中埋设测斜管,通过仪器观测各深度处位移。

E. 0. 2 钻孔轴向的位移量宜采用钻孔引伸仪测量。当只测量钻孔整体的轴向位移时,可采用自制简易钻孔引伸计。当测量孔内不同深度岩土体的位移时,应采用埋设式多点位移计。

E. 0. 3 当观测岩土体深部位移,确定潜在滑动面和研究边坡变形规律时,宜采用活动式测斜仪。

E. 0. 4 测斜仪的系统精度不宜低于 0.25mm/m ,分辨率不宜低于 $0.02\text{mm}/500\text{mm}$ 。

E. 0. 5 埋设测试仪器的钻孔应保持孔壁平整。成孔困难时宜采用套管护壁成孔。钻孔应穿过可能的滑动面并进入稳定的岩层内不小于 5m 。

E. 0. 6 测斜管埋设应符合下列要求:

1 钻孔成孔后应立即安装测斜导管,安装前应检验钻孔是否满足设计要求。

2 埋设前应检查测斜管质量,测管逐节连接组装并放入钻孔内,连接时应保证上下管段的导槽对准、顺畅,各段接头及管底应密封。

3 测斜管埋设时应保持竖直,防止断裂、扭转;测斜管一组导槽的方向应与所测量的位移方向一致。安装时应检查和修正。

4 测斜管与钻孔之间的空隙应由下而上逐段灌浆或用砂填实,固定测斜管。

5 测斜管固定完毕后,应用清水将测斜管内冲洗干净,检查

导槽时可用测头模型放入测斜管内,沿导槽上下滑行。

6 测量测斜管导槽的方位、管口坐标及高程,应做好记录,并应做好孔口保护。

E. 0. 7 测斜仪探头插入测斜管底后,应待探头温度接近管内温度时再测量,每个测点均应进行正、反两次测量,以检查每点读数的可靠性,当两次读数的绝对值相等时,应重新读数以消除记录不准带来的误差。

E. 0. 8 固定测斜管的回填材料应在完全固结后进行初值的建立。

E. 0. 9 当以上部管口作为深层水平位移的起算点时,每次监测均应测定管口坐标的变化并修正。

E. 0. 10 测斜仪测双向位移时,应由两个方向的测量值求出其矢量和,得出位移的最大值和方向。

E. 0. 11 测量时将测头插入测斜管,应使滚轮卡在导槽上,缓慢下至孔底,测量自孔底开始,应自下而上沿导槽全长每隔 0. 5m 测读一次,每次测量时,应将测头稳定在某一位置上。整个高度测量完毕后,应将测头旋转 180°插入同一对导槽,按以上方法重复再测量一次,两次测量的各测点应在同一位置上,此时各测点的两次读数应是数值接近(绝对值不超过 20)、符号相反。当测量数据有疑问时,应补测。用同样方法可测与其垂直的另一对导槽的水平位移。

E. 0. 12 侧向位移观测记录及整理内容应包括:工程名称、测斜孔编号、平面位置和导槽方位、水平位移实测值、最大位移值及发生的位置与方向、位移发展速率、观测时间。

E. 0. 13 通过定期重复测量可提供岩土体变形的大小。根据位移—深度关系曲线随时间的变化,可判断滑动面的位置,同时对位移大小及速率进行估计。

E. 0. 14 监测成果分析评价应结合工程地质、水文气象资料和钻孔岩心资料,当位移—深度曲线上斜率突变处与地质构造相吻合时,该位置应判定为滑坡的控制面。

附录 F 岩石锚杆试验要点及防护网选型

F.1 岩石锚杆试验要点

F.1.1 岩石锚杆试验应符合下列规定：

- 1 锚杆试验适用于露天矿岩层中锚杆，土层中锚杆试验应符合有关的现行标准规定。
- 2 加载装置和计量装置应在试验前进行计量检定，且应满足测试精度要求。
- 3 锚固体灌浆强度达到设计强度的 90% 后，可进行锚杆试验。
- 4 反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载要求。

F.1.2 基本试验应符合下列规定：

- 1 锚杆基本试验的地质条件、锚杆材料和施工工艺等应与工程锚杆一致。
- 2 基本试验时最大的试验荷载不宜超过锚杆杆体承载力标准值的 0.9 倍。
- 3 试验锚杆的锚固长度和锚杆根数应符合下列规定：
 - 1) 当进行确定锚固体与岩层间粘结强度特征值、验证杆体与砂浆间粘结强度设计值的试验时，为使锚固体与岩层间首先破坏，可采取增加锚杆钢筋用量（锚固段长度取设计锚固长度）或减短锚固长度（锚固长度取设计锚固长度的 0.4 倍~0.6 倍，硬质岩取小值）的措施；
 - 2) 当进行确定锚固段变形参数和应力分布的试验时，锚固段长度应取设计锚固长度；
 - 3) 每种试验锚杆数量均不应少于 3 根。
- 4 锚杆基本试验应采用循环加、卸荷法，并应符合下列规定：

- 1) 每级荷载施加或卸除完毕后,应立即测读变形量;
- 2) 在每次加、卸荷时间内应测读锚头位移二次,连续二次测读的变形量;
- 3) 加、卸荷等级与测读间隔时间宜按表 F. 1. 2 确定。

表 F. 1. 2 锚杆基本试验循环加、卸荷等级与位移观测间隔时间

加荷标准 循环数	预计破坏荷载的百分数(%)												
	每级加载量						累计 加载量	每级加载量					
第一循环	10	20	20				50				20	20	10
第二循环	10	20	20	20			70			20	20	20	10
第三循环	10	20	20	20	10		80		10	20	20	20	10
第四循环	10	20	20	20	20	10	100	10	20	20	20	20	10
观测时间 (min)	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5

5 锚杆试验中出现下列情况之一时可视为破坏,应终止加载:

- 1) 锚头位移不收敛,锚固体从岩层中拔出或锚杆从锚固体中拔出;
- 2) 锚头总位移量超过设计允许值;
- 3) 上层锚杆试验中后一级荷载产生的锚头位移增量,超过上一级荷载位移增量的 2 倍。

6 试验完成后,应根据试验数据绘制荷载-位移($Q-s$)曲线、荷载-弹性位移($Q-s_e$)曲线和荷载-塑性位移($Q-s_p$)曲线。

7 锚杆弹性变形不应小于自由段长度变形计算值的 80%,

且不应大于自由段长度与 $1/2$ 锚固段长度之和的弹性变形计算值。

8 锚杆极限承载力基本值取破坏荷载前一级的荷载值；在最大试验荷载作用下未达到第 5 条规定的破坏标准时，锚杆极限承载力取最大荷载值为基本值。

9 当锚杆试验数量为 3 根，各根极限承载力值的最大差值小于 30% 时，取最小值作为锚杆的极限承载力标准值；若最大差值超过 30%，应增加试验数量，按 95% 的保证概率计算锚杆极限承载力标准值。

10 基本试验的钻孔，应钻取心样进行岩石力学性能试验。

F. 1. 3 验收试验应符合下列规定：

1 验收试验锚杆的数量取每种类型锚杆总数的 5%（自由段位于 I、II 或 III 类岩石内时取总数的 3%），且均不得少于 5 根。

2 验收试验的锚杆应随机抽样。质监、监理、业主或设计单位对质量有疑问的锚杆也应抽样做验收试验。

3 试验荷载值应取 $A_s f_y$ 。

4 前三级荷载可按试验荷载值的 20% 施加，以后可按 10% 施加，达到试验荷载后观测 10min，然后卸荷到试验荷载的 0.1 倍并测出锚头位移。

5 锚杆试验完成后应绘制锚杆荷载-位移($Q-s$)曲线图。

6 满足下列条件时试验的锚杆应为合格：

1) 加载到设计荷载后变形稳定；

2) 符合本规范第 F. 1. 2 条第 7 款的规定。

7 当验收锚杆不合格时应按锚杆总数的 30% 重新抽检；当再有锚杆不合格时应全部进行检验。

F. 2 防 护 网

F. 2. 1 常用主动防护网型式应符合表 F. 2. 1 的要求。

表 F.2.1 常用主动防护网型式

型号	网型	锚杆及支撑绳	备注
GAR1	DO/08/300	$\phi 16$ 边缘(或上缘)钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 边缘(或上缘)支撑绳	单层钢丝绳网, 锚杆长度一般 2m ~ 3m, 抗拔力不小于 50kN
GAR2		$\phi 16$ 系统钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 横向支撑绳+ $\phi 16(12)$ 纵向支撑绳	
GPS1	DO/08/300+ SO/2.2/50	$\phi 16$ 边缘(或上缘)钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 边缘(或上缘)支撑绳	双层网(钢丝绳网+钢丝格栅), 锚杆一般 2m~3m, 抗拔力不小于 50kN
GPS2		$\phi 16$ 系统钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 横向支撑绳+ $\phi 16(12)$ 纵向支撑绳	
GTS	T/65	预应力系统钢筋锚杆+根据需要选用边界支撑绳和钢丝绳锚杆	单层高强度钢丝绳网, 锚杆长度一般 2m~3m, 抗拔力不小于 50kN
GTR	T/65	$\phi 16$ 边缘(或上缘)钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 边缘(或上缘)支撑绳	
GSR1	S/250	$\phi 16$ 边缘(或上缘)钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 边缘(或上缘)支撑绳	单层绞索网, 锚杆长度一般 2m ~ 3m, 抗拔力不小于 50kN
GSR2		预应力系统钢筋锚杆+根据需要选用边界支撑绳和钢丝绳锚杆	
GSS1	S/250+ SO/2.2/50	$\phi 16$ 边缘(或上缘)钢丝绳锚杆+ $\phi 16$ 边缘(或上缘)支撑绳	双层网(长菱形网孔绞索网+钢丝格栅), 锚杆一般 2m ~ 3m, 抗拔力不小于 50kN
GSS2		预应力系统钢筋锚杆+根据需要选用边界支撑绳和钢丝绳锚杆	

续表 F. 2. 1

型号	网型	锚杆及支撑绳	备注
GQR2	Q/280	$\phi 16$ 系统钢丝绳锚杆 + $\phi 16$ 横向支撑绳 + $\phi 16(12)$ 纵向支撑绳	单层近方形网孔绞索网, 锚杆长度一般 2m~3m, 抗拔力不小于 50kN
GQS2	Q/280+SO/2.2/50		双层网(近方形网孔绞索网+钢丝格栅), 锚杆一般 2m~3m, 抗拔力不小于 50kN

F. 2. 2 常用被动防护网型式应符合表 F. 2. 2 的要求。

表 F. 2. 2 常用被动防护网型式

型号	网型	支撑绳 *	上拉锚绳 **	侧拉锚绳	下拉及中间拉锚绳	缝合连接
RX-025	DO/08/250	$2 \times \phi 12 - 1/1$	$\phi 16 - 1 - "1"$	$\phi 12$ 单绳	$\phi 12$ 单绳	$\phi 8$ 缝合绳
RX-050	DO/08/200	$2 \times \phi 16 - 2/2$	$\phi 14 - 1 - "人"$	$\phi 16$ 单绳	$\phi 16$ 单绳	
RX-075	DO/08/150	$2 \times \phi 18 - 2/4$	$\phi 16 - 2 - "人"$	$\phi 18$ 单绳	$\phi 18$ 单绳	
RXI-025	R5/3/300	$1 \times \phi 18$	$\phi 16 - "1"$	$\phi 16$ 双绳	$\phi 16$ 单绳	$\phi 8$ 缝合绳或卸扣
RXI-050	R7/3/300	$1 \times \phi 22$	$\phi 18 - "1"$	$\phi 18$ 双绳	$\phi 18$ 单绳	
RXI-075	R7/3/300	$2 \times \phi 16 - 2/2$	$\phi 14 - 1 - "人"$	$\phi 14$ 双绳	$\phi 14$ 单绳	
RXI-100	R9/3/300	$2 \times \phi 18 - 2/2$	$\phi 16 - 1 - "人"$	$\phi 16$ 双绳	$\phi 16$ 单绳	
RXI-150	R12/3/300	$2 \times \phi 22 - 2/2$	$\phi 18 - 1 - "人"$	$\phi 18$ 双绳	$\phi 18$ 单绳	
RXI-200	R19/3/300	$2 \times \phi 22 - 2/4$	$\phi 18 - 1 - "人"$	$\phi 18$ 双绳	$\phi 18$ 单绳	
AX-015	DO/08/250	$2 \times \phi 12 - 1/1$		$\phi 16$ 单绳	$\phi 12$ 单绳	$\phi 8$ 缝合绳
AX-030	DO/08/200	$2 \times \phi 16 - 2/2$		$\phi 16$ 双绳	$\phi 16$ 单绳	
AXI-015	R5/3/300	$1 \times \phi 18$		$\phi 18$ 单绳	$\phi 18$ 单绳	$\phi 8$ 缝合绳或卸扣
AXI-030	R7/3/300	$2 \times \phi 16 - 2/2$		$\phi 16$ 双绳	$\phi 16$ 单绳	
GBE-500	T4/80	$1 \times \phi 18/U-150$	$\phi 14 - "人"$	$\phi 14$ 单绳	$\phi 14$ 单绳	卸扣
GBE-1000	T4/80	$1 \times \phi 20/U-300$	$\phi 14 - "人"$	$\phi 14$ 单绳	$\phi 14$ 单绳	
GBE-2000	S4/130	$2 \times \phi 22/U-300$	$\phi 20 - "人"$	$\phi 16$ 单绳	$\phi 16$ 单绳	

注:1 支撑绳配置中 GBE 类系统表示为“上下支撑绳根数 \times 直径/每根支撑绳两端各带一个 U 形消能件的个数”(支撑绳分段长度不得大于 60m),其他系统表示为“上下支撑绳根数 \times 直径-上/下支撑绳上每跨减压环个数”。

2 上拉锚绳配置中表示为“直径-每根减压环个数-‘1’字形或‘人’字形布置”,缺省时表示无减压环。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086
- 《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《工程岩体分级标准》GB 50218
- 《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
- 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 《有色金属矿山排土场设计规范》GB 50421
- 《爆破安全规程》GB 6722
- 《中国地震动参数区划图》GB 18306

中华人民共和国国家标准

非煤露天矿边坡工程技术规范

GB 51016-2014

条 文 说 明

制 订 说 明

本规范制订过程中,编制组进行了广泛的调查研究,总结了我国非煤露天矿边坡工程的实践经验,在已有的相关通用标准和行业标准的基础上,对非煤露天矿边坡工程技术工作制定了更为先进和具体的规定。

为便于广大勘察设计、施工、科研、学校等有关单位有关人员在使⤵用本规范时能正确理解和执行条文规定,《非煤露天矿边坡工程技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行过程中需注意的有关事项进行了说明,并着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 录

1	总 则	(83)
3	基本规定	(86)
4	边坡工程勘察	(90)
4.1	一般规定	(90)
4.2	可行性研究阶段	(91)
4.3	设计阶段	(92)
4.4	开采阶段	(96)
4.5	工程地质测绘与调查	(97)
4.6	勘探与取样	(99)
4.7	原位测试	(100)
4.8	室内试验	(100)
5	边坡稳定性评价	(101)
5.1	一般规定	(101)
5.2	分析与计算	(102)
5.3	评价与成果报告	(104)
6	边坡监测	(105)
6.1	一般规定	(105)
6.2	变形监测	(106)
6.3	应力监测	(107)
6.4	振动监测	(108)
6.5	降雨和地下水监测	(109)
6.6	滑坡监测	(110)
7	边坡靠帮过程控制与维护	(112)
7.1	一般规定	(112)

7.2	边坡靠帮过程控制	(112)
7.3	靠帮边坡日常维护和变形控制	(113)
8	边坡治理工程设计	(114)
8.1	一般规定	(114)
8.2	疏排水	(115)
8.3	削坡减载	(118)
8.4	锚杆	(118)
8.5	喷锚支护	(121)
8.6	抗滑桩	(122)
8.7	框架梁锚固	(123)
8.8	挡墙	(124)
8.9	其他治理方法	(125)
9	边坡治理工程施工	(127)
9.1	一般规定	(127)
9.2	施工组织设计	(127)
9.3	信息化施工	(128)
10	工程检测与验收	(129)
10.1	一般规定	(129)
10.2	质量检验和工程检测	(129)
10.3	验收	(130)
11	安全与环保	(131)
11.1	安全	(131)
11.2	环保	(131)

1 总 则

1.0.1 我国是矿山多露天开采的国家,露天开采的铁矿石占 90%,有色金属矿石占 50%,水泥矿山占近 100%,露天矿边坡角大小是影响露天开采安全 and 经济效益的重要因素,一个大型露天矿总体边坡角每加陡 1° ,可减少剥岩费几千万元乃至上亿元,边坡角过陡也会造成边坡重大破坏事故,已建的边坡或边坡工程时有垮塌事故和压矿等浪费现象,造成国家和人民生命财产的重大损失,严重影响生产并埋下巨大隐患。矿山边坡工程勘察、评价、监测和治理涉及工程地质、水文地质、岩土力学、结构力学、矿山工程、岩土工程和监测等多门学科与技术,制定本规范的目的是使矿山边坡勘察、评价、设计和治理等工程技术标准化,使其满足技术先进、经济合理、安全适用、确保质量、保护环境的要求,确保矿山边坡安全运行,使露天矿山获得最佳的经济和社会效益。

1.0.2 非煤露天矿边坡(主要指金属矿山)特点是:

(1)露天矿边坡本身是一个结构群体,具一定的复杂性,且为人为开挖,规模巨大,通常设计高度 300m~500m,最高超过 800m,边坡走向延伸可达数公里,揭露地层多,地质条件通常较为复杂;

(2)矿体赋存状态无选择性,亦不存在边坡工程选址选线和避让的条件,只能在既定的工程地质条件下进行开挖和施工;

(3)边坡开挖与采矿效益密切相关,为了获得更大的经济效益,边坡规模非常宏大且深凹陡峻;

(4)露天矿边坡是一个动态的地质过程,边坡工程具有时效性,矿山建设初期并非形成永久边坡而是随着采掘的深入和发展,逐步形成永久边坡,直至采掘终了才能形成整体的永久性边坡,这

就是说处于生产期间的矿山边坡大都是属于相对的临时性边坡，其服务年限通常较短或长短不一；

(5)边坡岩体具有可变形性，与大型水坝、交通干线的边坡相比，露天矿边坡远离人群，设备稀少，只要不危及人身、设备和生产安全，允许边坡岩体产生一定的变形甚至产生一定的破坏。这种破坏按照国内外的惯例，宜不超过总体边坡的 10%；

(6)露天矿边坡工程始终处于动态的外部应力作用下，矿山始终处于复杂的动态开挖的动荷载作用过程中，特别是矿山周而复始的爆破对边坡岩体的松动破坏是持续累进的，尤其是近帮的、不恰当的爆破会使边坡原本完整的岩石破裂，从而降低边坡稳定性并导致坍塌和滑动；

(7)露天矿边坡工程具阶段性和循环性，矿山开挖本身就是一种最有效、最直接的工程揭露与勘察，此特点恰恰满足了边坡稳定性研究由表及里、由浅入深的阶段性和渐进性的要求，为依赖于信息反馈的边坡稳定性的动态研究提供了条件。

区别于非煤露天矿山边坡，组成露天煤矿的边坡岩层主要是沉积岩，层理发育，软弱结构面多，岩石强度低；边坡破坏的形式主要是应力型破坏。而金属露天矿边坡大多为火成岩或变质岩组成，岩石坚硬，岩体组成复杂，边坡破坏形式多样，但主要为结构型破坏。本规范只是针对非煤露天矿边坡而编制。

1.0.3 露天矿边坡工程确定的两项主要内容，一是为采矿设计提供最优边坡角，二是处理开采阶段出现的边坡问题。通过定性分析、定量计算和综合比较后，推荐的最优边坡角并不是最终的设计边坡角，而后者尚需在矿山设计时结合采矿生产工艺和其他技术方面的要求等综合考虑确定。

1.0.4 实施采场的边坡治理工程主要是开采阶段的工作，露天矿采场边坡治理工程设计是基于治理工程的勘察和边坡稳定性分析计算的结果，结合矿山生产情况，边坡安全等级等因素而进行的综合治理设计。边坡治理工程设计须与采矿工艺相结合，注意上下

兼顾,远近期结合,对治理方案充分对比,认真比选。

动态的露天矿边坡特性决定了边坡治理工程的阶段性特点,动态设计、信息施工法就是将设计、施工、监测和信息反馈融为一体的现代化施工方法。信息施工法是动态设计法的延伸,也是动态设计法的需要,动态设计即利用施工开挖进一步查清加固体的情况和特征,如有必要,则进行设计变更。信息化施工法是一种客观求实的工作方法,对于地质情况复杂、稳定性差的边坡工程,施工期的稳定安全控制更为重要,建立监测网和信息反馈系统有利于控制施工安全并进一步完善设计,是边坡工程的经验总结和不断发展起来的先进施工方法,应大力推广。

1.0.5 露天矿边坡勘察、评价、监测和加固是边缘性很强的工程技术,它关系到工程地质勘察、测量、地基与基础、钢筋混凝土结构、抗震设计等学科,因此有关矿山边坡工程技术,除应遵守本规范外,尚应符合国家现行的有关规范和标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 由于矿山开采的设计是分阶段的,而各设计阶段对勘察工作的要求有所不同,为满足各阶段设计的需要并避免浪费,勘察工作应分阶段进行。

可行性研究阶段、设计阶段和开采阶段的边坡岩土工程勘察其内容有相似之处,但要求的深度和广度存在很大差异。开采阶段的岩土工程勘察具较强针对性,即满足矿山改扩建和局部治理之需而进行的岩土工程勘察,三者勘察方案也存在较大悬殊。前两者采场尚未揭露或仅局部揭露,后者通常已经全部揭露,故其勘察的方法、手段也有较大差别。

针对开采阶段滑坡、危岩、崩塌等不稳定区进行的岩土工程勘察,应为露天矿边坡治理方案的选择和设计提供可靠依据。

3.0.2 除高度外,通常露天矿边坡按各帮上部境界的长度分为长边坡($L > 1000\text{m}$)、中长边坡($500\text{m} < L \leq 1000\text{m}$)和短边坡($L \leq 500\text{m}$)。露天矿山的特点之一是规模宏大,具体表现为边坡高且长。边坡研究应考虑的因素、方法和钻探深度以及边坡破坏的严重程度多与边坡高度有关,而边坡长度又涉及布设勘探点的数量。边坡研究以高度为主,且要兼顾边坡长度。

3.0.5 边坡工程依其破坏后已经或可能造成的后果,如危及人的生命安全,造成的经济损失,产生的社会不良影响的严重性划分为三种边坡危害等级,等级的划分与环境、地质条件、边坡高度等多种因素有关,这里仅侧重人员伤亡和造成的经济损失。

3.0.6 边坡工程安全等级与环境、地质条件、采矿工艺要求、边坡危害等级、坡高和服务年限等多种因素有关。本条主要考虑了边坡破坏产生和可能产生后果的严重性,还考虑了边坡高度这一影

响边坡稳定的重要因素。实际上,露天矿边坡愈高,发生破坏的概率愈高,破坏后果也愈严重。本条以边坡危害等级和边坡高度为依据将边坡工程划分为三个安全等级。

3.0.7 尚应考虑场地地质条件复杂程度以及矿山设计、采矿工艺和开采阶段不稳定区边坡工程勘察提出的特殊要求。

3.0.8 进行工程地质分区有利于勘察场区工程地质评价,并可为边坡分区奠定基础。应当指出,在进行工程地质分区时,只考虑研究地段的工程地质条件,而对其在采场所处的部位、边坡的几何形状等与工程地质条件无关的因素则不予考虑。工程地质分区应表示在工程地质图上。在对勘察场区工程地质条件进行阐述和评价时,应按工程地质分区逐区进行。

边坡分区应在工程地质分区的基础上进行,进行边坡分区的目的在于进行边坡稳定性的计算。边坡稳定性的计算需要根据计算剖面 and 各项计算参数进行。因此要求在各分区内不仅其工程地质条件应相同或相近,而且边坡的几何形状、坡面倾向也应基本一致,以保证各分区的边坡能用单一的剖面 and 相同的计算参数来表征。边坡分区应在规划设计采坑平面图上表示,边坡稳定性计算按边坡分区逐区进行。

当矿山总体稳定坡角过缓有悖于环保和经济原则时,宜在矿山设计阶段考虑通过改善坡形、疏排水及支挡等工程措施,适当加陡坡角,并在矿山开采阶段逐步完善、补充与实施。该项工作较为复杂,宜进行充分的研究与论证。

3.0.9 采场边坡与人口稠密区或重要工程设施旁的岩石边坡相比,其破坏所造成的损失相对较轻,所以设计时采用的安全系数也应适当降低。本条规定露天矿边坡设计安全系数限值当不计地震力时为 1.05~1.25,此数值既符合前述的原则也符合目前国内外常使用的安全系数限值,见表 1,引自王运敏主编《现代采矿手册》(冶金工业出版社,2012)。露天矿边坡的特点决定了边坡安全判定准则的多重性与复杂性,故本表设计安全系数以区间值的方式

给出。

与重力等长期作用的荷载不同,地震力是一种偶发性的瞬时荷载,计算边坡稳定时,如考虑了地震力,按最不利的荷载组合,其安全系数限值应适当降低。

露天矿边坡角大小对岩石剥离量的影响很大,从经济角度出发,考虑到露天矿山边坡岩体具可变性的特点,不能要求台阶边坡和临时性工作帮都不破坏,故本条提出:“对于台阶边坡及临时性工作帮,允许有一定程度的破坏”。

表 1 国内外矿山边坡许用安全系数表

矿 山	安全系数	矿 山	安全系数
英国、加拿大	1.3	鞍钢大孤山铁矿	1.15~1.25
美国	1.20~1.30	本钢南芬铁矿(1986年)	1.25
攀钢公司尖山矿(1986年)	1.15	江西德兴铜矿(1985年)	1.25
武钢大冶铁矿(1978年)	1.15~1.20	安徽新桥硫铁矿(1998年)	1.18~1.20
海南铁矿(1980年)	1.15~1.25	太钢尖山铁矿(1990年)	1.15
广东云浮硫铁矿(1988年)	1.15~1.20	太钢峨口铁矿(1996年)	1.15
马钢南山铁矿(1987年)	1.2	山东韩旺铁矿(1993年)	1.25
西藏罗布莎铬矿(1987年)	1.2	湖北铜录山矿(1989年)	1.25~1.30

3.0.10 特殊工程或有特殊要求时应进行专门论证。

3.0.11 对规模不大、破坏机理明晰的边坡治理工程,可简化设计阶段。

3.0.12 监测可提供坡体变化的定量数据,是评价边坡与滑坡稳定性及危害预报的主要依据。边坡治理应遵循“以防为主,防治结合”的原则,做到防患于未然,把边坡破坏发现于未发生或仅处于萌芽状态期间,以便及早预防与整治,达到事半功倍的效果。

监测包括:变形监测、应力监测、振动监测和水文监测。其中变形监测包括地表及深部位移监测,通常采用激光经纬仪、光电测距仪和精密水准仪定期对地表及坡面进行水平和垂直位移测量,

对变形明显的滑坡部位或潜在滑坡宜采用钻孔多点伸长计和钻孔倾斜仪等进行岩体内部的位移检测。对于安全等级为Ⅰ、Ⅱ级的边坡可采用GPS(全球定位系统)监测。

位移监测网和地下水监测网站宜在矿山开采初期建立,以便监测数据对边坡变形趋势做出估计和分析。

3.0.13 在整个矿山生产服务年限内,爆破作业周而复始,非常频繁。因此,较其他边坡工程,露天矿边坡受爆破作用影响更大。爆破振动会累积扩展产生裂隙,持续渐进降低岩体强度,加速锚杆的预应力损失和松弛,降低支护结构功能,同时也会产生附加的瞬时外力对边坡破坏起到触发作用。因此,控制靠帮边坡质点振动速度,采用预裂爆破、缓冲爆破和光面爆破等控制爆破方法,最大限度地减少爆破振动对边坡岩体和已加固工程的损伤,保护好边坡岩体的原始强度和边坡工程,是非常关键的,这也是以防为主的一种具体表现。现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 对永久性岩石高边坡的边坡质点振动速度最高限定为 15cm/s ,结合非煤露天矿山边坡特点,根据国内外边坡爆破振动实测数据分析和工程实践,确定非煤露天矿山靠帮边坡质点振动速度应小于 24cm/s 。

强制规定此条,对防止边坡失稳,预防安全事故,确保安全生产,提高经济效益与社会效益有重要意义。

4 边坡工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 露天矿边坡勘察场区复杂程度可分为以下四种类型:

(1)简单型——岩土类型比较单一,岩性变化不大,岩层产状稳定,接触面比较规则,褶皱、断裂不发育,地质结构简单,水文地质条件单一;

(2)中等复杂型——岩石类型较多,岩性变化较大,岩层或结构面不够稳定,褶皱、断裂较发育,有岩脉穿插,有顺坡向软弱结构面,地质结构和水文地质条件较复杂;

(3)复杂型——岩石类型多,岩性变化大,岩层产状多变,褶皱、断裂发育,不同时期的岩脉互相穿插,软弱结构面发育,地质结构和水文地质条件复杂;

(4)很复杂型——岩石类型很多,岩性多变,岩体破碎现象十分显著,次一级褶皱和断裂发育,不同时期的岩脉纵横交错,软弱结构面十分发育,地质结构和水文地质条件很复杂且对边坡稳定影响强烈。

地质条件的复杂程度直接影响到勘察的工作量的布置,特别是钻孔工作量大小及其孔位布置,以及治理措施及安全系数的选定。

4.1.2 钻孔设计应在充分研究已有资料和工程地质测绘成果的基础上进行,确定钻孔需探查的关键问题并作出—孔多用的安排,如还可进行水文试验、测井试验、埋设水压计等。

在露天矿边坡工程地质勘察的费用中,钻探所需的资金占相当大的比例,因此对钻探工作应精心设计,使每一钻孔均具有明确的目的,并尽可能利用形成的钻孔获取多方面的资料。

4.1.3 结构面是岩质边坡破坏的主控因素。通过岩心定向钻探,可获得岩心上结构面的产状数据,有助于分析深部不连续面的空间分布,预测不连续面在边坡上的出露位置,确定边坡破坏模式,从而更科学地进行边坡稳定性评价。岩心定向可采用单点定向、多点连续定向等方法,岩心不连续面产状还可通过钻孔数字成像获取。本规范岩心定向主要指机械式单点定向。有关岩心定向钻探应符合现行国家标准《冶金工业建设钻探技术规范》GB 50734的有关规定。

4.2 可行性研究阶段

4.2.2 搜集研究本条所列的各种资料有助于勘察人员了解勘察场区的自然特征、工程地质条件和以往工程中的经验,并据此制定合理的勘察纲要。

4.2.4 本规范中勘察场区一词是指需进行详细勘察研究的场地,其范围应比采场大,可用工程地质测绘的范围来表示。

4.2.5 工程地质踏勘是可行性研究阶段工程地质勘察的一项主要内容。有些工程未经过可行性研究阶段的勘察而直接进入设计阶段的勘察,或者设计阶段勘察的工程地质人员未曾进行过场区的工程地质野外工作,在这种情况下,应该也按本条的要求在测绘之前先进行踏勘。踏勘应按横穿场区的垂直构造线或岩层走向的线路进行,将原有矿山技术档案资料划分的岩组,按岩土工程的要求重新分组定名,并了解各岩组的岩土工程性质,确定软弱岩层或贯通性强的不连续面的空间位置和各组不连续面的产状。

一般在详细搜集和利用已有资料的基础上,进行野外踏勘、专门路线的调查及详细线测量即可完成本阶段的勘察任务。但实际情况是多种多样的,例如,有些矿山没有完整的矿山技术档案资料,而另一些矿山工程地质条件比较复杂,难以利用已有资料说明大的不连续面的分布状况及其他主要工程地质问题,因此不排除必要时在局部地段或全场区布置工程地质测绘及其他

勘察工作。

本阶段勘察工作开始时,如评价矿产储量的钻探工作仍在进行,应争取按岩土工程技术钻孔的要求施工,使之兼为矿床勘探和岩土工程勘察提供资料。

4.2.6 可行性研究阶段进行工程地质钻探的情况是极个别的,仅当需钻探查明的主要工程地质问题对矿山可否合理开采的判定有重大影响时才考虑进行。

4.2.7 采场附近现有自然边坡、人工边坡的形态及稳定状况和附近地下岩溶、采空区岩层崩落状况的调查分析结果对采场适宜边坡角的选择能提供有用的资料。

4.2.8 主要是指不连续面的抗剪强度试验资料。

4.2.9 可行性研究阶段稳定性计算工作主要是依据已有资料和经验资料确定,只有获得的资料不足时才进行适当的试验工作以校核和补充。本阶段提出的各帮边坡角主要是用作估计剥离量和经济分析,以及规划设计采场的境界,因此只需进行简要的边坡稳定性计算并结合工程判断给出各帮边坡角的推荐值。

4.3 设计阶段

4.3.1 矿山设计阶段应确定最终开采境界和边坡几何要素等内容。露天矿的开采境界由最终开采深度、底部周界及最终边坡角三个要素组成,其中最终边坡角主要是依据勘察研究成果并考虑采矿工艺确定的。边坡几何要素是指在靠帮边坡上布设的各种用途的平台和运输通道的空间几何位置。本阶段应着重对较早形成的固定帮边坡做详细勘察与研究。

4.3.2 采场要素是指露天开采所形成的采坑、台阶和露天沟道等的总和。采掘工艺包括穿孔爆破、采装运输和排土等工作。

4.3.3 本条说明如下:

1 在所搜集的地质资料和矿山技术档案资料中,岩石是按岩石学的分类定名,其中的矿物成分或结构稍有不同即有不同的定

名。但在岩石边坡稳定性的评价和计算中,岩石的力学性质是主要的。故对岩体进行岩石力学研究时,应把成因类型相同、岩土工程性质相近的一组岩石划为同一个工程地质岩组,以便于计算模型的合理简化。应强调指出,对软弱岩层及风化破碎带,因其力学性质很差,在一定条件下对边坡岩体的稳定性会产生重大影响,即使很薄,也应单独划分出来。

2 大的不连续面包括断层、岩性界面、岩脉、不整合面、接触面等,其规模较大,可切穿整个坡体。总体边坡的稳定性主要受大的不连续面控制,故本条规定:“对其中直接影响边坡稳定的大的不连续面应着重研究”。“成组不连续面”是指节理、层理和片理、劈理、片麻理等面理的总称。同一组不连续面的产状基本一致,但测定结果则表现出分散性。“优势产状”是该组不连续面的代表性产状,反映测定值的集中性,可利用极点等密度图判定,或以测定结果的中值或均值表示。

3 岩体滑移或破坏的面有不同的类型,有的是不连续面,有的是切穿岩体的破坏面,此外还有由上述二者构成复合型的滑动面。在根据破坏模式分析确定滑动面类型之后,应分别确定相应的不连续面抗剪强度和岩体抗剪强度。

5 对处于地震烈度 6 度以上地区的边坡进行稳定性分析时,需将地震力作外力因素考虑,为此,需确定出计算所需的地震加速度。地震加速度应符合现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的有关规定。安全等级为 I 级边坡,地震烈度为 8 度及以上时,宜进行地震危险性分析,以提高此参数值的准确性。

9 稳定坡角过缓的边坡是指受构造等因素影响而导致局部区段边坡角度过缓而影响总体坡角,需采取加固措施提高边坡角的边坡。

4.3.4 工程地质测绘成图比例尺应与本阶段设计所用比例尺一致,目的是便于设计者使用。在一般情况下设计所用的比例尺为 1:2000。在需取得地质细节的局部地段,例如滑坡地段,可根据

实际需要采用较大比例尺测绘成图。

若绘制成图范围以外仍有威胁采场稳定的自然地质现象或有因工程活动引起的不稳定因素,则应扩大测绘成图范围。

4.3.5 通过槽探、井探和洞探可以更好地确定重要的地质界线,研究某些构造细节,其中最常用的是槽探。槽探一般要求覆盖层厚度不得超过 3m,它适于查明构造线、破碎带宽度、地层岩层界线、软弱结构面等。探槽长度视需要确定,深度和宽度要根据覆盖层性质和厚度确定,其方向应垂直于岩层、破碎带及结构面的走向。

对于探槽、探井和探洞除文字描述、记录地层、岩性和地质构造外,尚应以剖面图和展开图等反映槽、井、洞壁及其底部的岩性、地层分界及构造特征。取样或原位测试应有代表性部位的文字说明及彩照。

4.3.6 详细测线测绘工作按条文说明 4.5.5 条、4.5.8 条要求进行。对难以接近的陡峻山坡或台阶坡面上节理裂隙的产状测量,可用地面摄影测量方法完成。

4.3.7 本条对钻孔的布置按不同情况作了规定。由于地质条件的多样性和每孔钻探要求的特殊性,故此条只能是原则上的规定,每一钻孔的设计都应结合地质条件,考虑具体的勘察要求,逐一确定。一般来说,边坡勘察工程钻孔布置要结合矿山原有勘探线,利用已有勘探孔,以满足本条勘探线和钻孔数量的要求。

4.3.8 由于潜在滑动面是按最低可能的面作预计的,故只要求钻探深入其下不小于 10m。

4.3.10 通过采场及附近的地下平洞或其他地下工程,进行深部勘察工作,可在较长的地带中观测,同时还能获得不连续面产状和性质、岩石的完整性以及各组节理裂隙、地下水渗出情况的可靠资料,故应充分利用。

在钻孔中进行的水文地质试验按岩层渗透性由弱到强的不同,可分别采用压水试验、常水头注水试验和降水头注水试验等方

法。为保证试验的成功,应采用适宜的封隔塞装置,对试验段进行有效的密封。

4.3.11 工程地质岩组分类的定性试验内容是指本规范第 4.7.1 条的定性分类试验。测定结果是划分和评价工程地质岩组的重要依据。

原位抗剪试验既费工又费时,是否进行应根据必要性和可能性慎重确定。由于锚固能力的限制,试验应仅对可能构成破坏面的弱面和松散体进行。

岩石与不连续面的力学试验指标是计算边坡稳定性所需的基本参数,而稳定性计算总是按一定破坏模式进行的,故试验工作应具有针对性,试验结果应具有代表性,试验条件应符合实际情况,因此强调“应在确定破坏模式的基础上进行”。

4.3.12 岩体变形指标主要指变形模量和泊松比。通常泊松比根据经验确定。钻孔弹模仪、载荷试验和狭缝试验有一定的试验面积,并在较大负荷下进行,所测结果可表示岩体的变形模量值。原位弹性波速是在小位移下测定的,而室内完整岩石试件不包含岩体中的裂隙,两种方法测定的变形模量均偏大,因此应根据经验进行处理。

4.3.13 不同露天矿山边坡的地质条件均具有特定的性质,应逐一研究,以确定其破坏模式,但各矿山同类岩石和不连续面的试验指标有相近的范围,可参考使用。故本条规定,对于简单型场区低边坡,可适量减少试验工作量,允许在类比研究的基础上根据经验确定所需的参数。

4.3.14、4.3.15 原位地应力测量、岩体物理模拟试验、地下水渗流的数值计算或电模拟试验均能为边坡稳定性研究提供有用的资料。但这些方面的工作都是技术复杂、成本较高的工作。故本条提出仅安全等级为Ⅰ级且位于高地应力地区的边坡可进行原位地应力的测量与分析;对岩体的物理模拟和地下渗流的电模拟实验,可视需要与可能的条件进行,未作硬性规定。

4.4 开采阶段

4.4.1 开采阶段的边坡工程勘察是在开采过程中发现原设计所依据的岩土工程资料不符合开采后的实际情况,或矿体的开采边界发生变化等而需局部修改边坡设计,或为不稳定区段治理等所需进行的勘察。

矿山开采阶段工程地质勘察只是在本条所列举的特定情况下,由生产单位根据需要提出任务后进行。因此,该阶段不是每一个露天矿山在开采过程中必经的程序。

4.4.2 如利用新揭露的岩体测取不连续面数据,要严格辨认新揭露的岩体表面是否经受过扰动及扰动程度,区分所测取的不连续面是原状的还是经过扰动(如爆破振动)后而形成的。

4.4.3 不稳定区指有滑坡、崩塌或潜在有边坡破坏的区段。可进行滑坡反演计算确定滑动面力学参数。

4.4.4 对现有边坡进行稳定性调查是本阶段勘察工作的一项重要内容。比较而言,前一阶段进行的破坏模式分析和稳定性评价所依据的资料还不够充分。本阶段勘察时边坡业已形成一定高度,对其稳定状况特别是对已发生的滑坡进行调查,能获得进一步的资料,可用于研究和修正以前所作的破坏模式分析和稳定性评价。台阶边坡稳定性分区可为生产矿山进行边坡维护管理提供依据。

4.4.5 在有条件的情况下可利用浅层地震仪沿台阶进行波速测定,并在典型断面上进行岩性对比,这可在较大范围内了解岩体破碎、风化程度和爆破松动范围。

4.4.6 在本阶段已能获得先前埋设在境界线附近水压计孔中的水压观测资料,有时也能获得边帮上地下水渗出情况及渗出标高和炮孔中的水位资料。应利用这些资料进行反演计算以重新核实前一阶段的地下水的边界条件和岩层的渗透系数。利用这些经过修正的参数重新作深部开采条件下的渗流计算,可获得更为可靠的结果。

4.5 工程地质测绘与调查

4.5.1 本条说明如下：

2 对岩石的岩土工程性质及风化状况的研究,除进行肉眼鉴定外,宜使用第 4.7.1 条中所列的各种定性分类试验方法,即点荷载试验、回弹仪试验、浸水效应试验等进行研究。

5 台阶边坡调查包括平台上有无张裂缝并出现坡面岩体破碎情况,裂隙的张开程度和爆破振动对它的影响,有无危石及潜在滑体,已发生滑坡的类型及其形成机制,稳定台阶与不稳定台阶形成的台阶坡面角等。根据台阶边坡的稳定程度予以分级并在平面图上加以圈定。

6 自然斜坡调查和研究的方法可参考加拿大矿物和能源技术中心编制的《边坡工程手册》(冶金工业出版社,1986 年)所推荐的方法。

7 为了对滑体进行稳定性评价并提出相应的治理措施,以及为了通过反演计算获得滑动面的抗剪强度参数,需对发生过的或正在滑移中的滑坡进行本条所列各项调查。在滑体反演计算中安全系数取略小于 1 的数值。反算求得的岩体及不连续面抗剪强度指标是此后确定边坡稳定性计算参数的重要依据。

对于滑坡活动规律的认识和滑坡发展趋势的判断,除进行野外的调查观察和计算分析外,主要应通过监测手段获得。

9 在采场坡体中或其下部有时会有以前地下开采遗留下来的巷道等采空区存在,有些场区有岩溶发育,它们对边坡的变形及稳定性有直接影响,应做详细调查。采空区及岩溶崩塌方面的调查资料对评价岩体稳定状况及岩体强度参数有参考价值。崩落角是指岩体因地下采空区或岩溶产生塌陷时形成的塌陷部分与未塌陷部分界面的倾角。

10 矿山生产爆破会破坏边帮岩石的完整性,不适当的爆破使边坡的稳定性降低,甚至导致边坡的破坏。因此须对生产爆破

方式、一段最大爆破药量及爆破振动对已形成边坡的影响等进行调查,以发现问题和提出改进的建议。

4.5.2 工程地质测绘应按已编制的工作底图进行,底图上各种地质界线的绘制精度与其原先的测绘比例尺一致。对于工程地质测绘测线间距的要求,应视要求的测绘精度确定。通常可行性研究阶段勘察,其测线间距可达 150m~300m,而设计阶段和开采阶段勘察测线须加密一些,一般控制在 75m~150m,对于复杂和很复杂型场区,其测线间距可为 50m~100m。

4.5.3 对工程地质测绘工作的观测点数量,一般不作硬性规定,但要求关键部位必须布点。点的选择以检查修正工作底图上的各种地质界线和补充新的地质界线为主要目的。因此,测绘的结果同样可达到成图比例尺的精度。

在铁矿区进行测绘时,罗盘仪读数受矿体磁场的影响很大,且影响程度在采场不同部位都不相同,故罗盘仪测量数据须经校正方可使用。

4.5.5 详细测线测量常沿岩坡走向进行。因此,走向与坡面走向相近的不连续面组不易测到。而这些未能测到的坡面多为顺坡向不利于边坡稳定的不连续面。故详细测线应尽可能按不同的方向布置,并注意在与测线成大角度相交的方向线上搜集不连续面产状资料。在岩体出露于三度空间的地段布置测站,有利于测取各个方位的不连续面,而避免出现测量盲区。

4.5.6 同组不连续面中,长度愈小其产状测量结果的代表性愈小,故在测绘时对长度小于 2m 的可不予测定,以减少测量结果的偏差。

4.5.7 本条所列的测记项目有些是以直接量测的数字表示,如间距、长度、开度等,另一些是描述性的,如不连续面类型、粗糙度等。对这些描述性项目,应事先确定分类或分级标准,并以数字代码表示,以便于野外记录和统计运算。

4.5.8 本条所述的优势组是指不连续面组中较发育的组,软弱组是指不连续面强度较低的组;产状不利组是指可能构成滑面的组。

岩体具有沿产状不利组不连续面运动的条件,故对此组不连续面应着重分析研究,搜集资料更应齐全。

4.5.9 按统计学观点,同一母体的样品达 50 个即构成大子样,其统计参数即能代表母体参数。由于不连续面样品产状的离散性比较大,每组的样品数量应适当增多,本条规定每组的样品数不少于 100 个,而对产状不利组规定不少于 150 个。还应说明,在不同的工程地质分区或边帮的不同部位,如顶帮、底帮、端帮等,各组不连续面的样品数量应分别满足上述最小限量。

4.6 勘探与取样

4.6.1 《工程岩体试验方法标准》GB 50266 规定岩石单轴抗压强度试验的试样直径宜为 50mm。NQ 系列钻头在国际上流行较广,钻取的岩心直径为 47.6mm,亦可应用。孔径为 76mm 的钻孔是使用 NQ 系列钻具钻进形成的。

按岩心定向技术的要求,和为研究岩体中是否存在弱层及为掌握岩体破碎程度的需要,取出的岩心应不受磨损和冲蚀,并能依此相互连接。为满足这些要求,使用双重岩心管采取岩心是不可缺少的技术条件。

4.6.2 岩心采取率达到 100% 才能构成岩心段首尾相接的条件,以满足岩心定向的要求。

定向成功率达 95% 以上,才可以保证原要求的定向段的岩心绝大部分能够精确定向。

为确定切穿岩心的不连续面的产状:需要具有 4 个参数,即岩心轴线的倾斜角和方位角(用该深度钻孔的倾斜角和方位角表示)及不连续面的方向角和构造角。

4.6.4 钻孔岩心是最珍贵的地质基础资料,应将全部岩心拍成彩色照片备查。岩心的编录内容包括:

(1)岩石的定名、矿物成分、结构、构造、硬度、蚀变状况、风化程度等;

- (2)岩石的破碎状况、岩石质量指标 RQD、裂隙密度(条/米);
- (3)不连续面的类型、粗糙状况、充填情况;
- (4)点荷载试验结果、岩心侧面摩擦休止角测量结果等;
- (5)对定向段岩心还应列表填写不连续面的类型、粗糙度、间距、充填状况、岩石硬度、构造角和方向角,并通过构造角、方位角和钻孔孔斜确定不连续面产状。

4.6.7 常用的工程物探方法主要有电法勘探、地震勘探、声波探测和地球物理测井。

4.7 原位测试

4.7.1 分析原位测试成果资料时,应注意仪器设备、试验条件、试验方法等对试验的影响,结合组成边坡的岩土体条件,剔除异常数据。

试验地段及试块的确定要充分考虑到地质、工程以及力学条件的代表性、试块的均一性。

原位试验由于其试验面积较大,试体受扰动的程度较小,从局部看其代表性较好。另一方面,试验受设备、试验地点和经济等条件的限制,一般不能广泛进行,故试验数量有限,试验结果与母体真值的偏差大。因此,从宏观看其代表性则明显不足。在使用原位试验结果时,应考虑其代表性不足而包含的偏差存在。

钻孔水文试验应符合现行国家标准《水电水利工程钻孔压水试验规程》DL/T 5331 的有关规定。

4.8 室内试验

4.8.1 对致密的岩石,其含水量很小,可测定其干密度;对含水量较大的泥质岩石,应测定其保持天然含水量状态下的湿密度。

4.8.7 当断层破碎带或其他破碎岩体含有粒度成分不同的物质时,应采取扰动样品,使用较大的试验容器,去掉试样中试验容器不易容纳的颗粒,制备与原状样具有粒度成分、级配曲线相似的重塑样进行试验。

5 边坡稳定性评价

5.1 一般规定

5.1.1 各勘察阶段内容、目的及对应的露天矿边坡现状均有很大区别,边坡稳定性评价应与之相适应,如可行性研究阶段对边坡稳定性计算的要求就相对比较简单。因此,应根据勘察阶段对勘察成果的要求,进行相应的稳定性评价。

5.1.2 定性分析是边坡稳定性分析的重要步骤和定量分析的基础。定性分析通过工程地质类比和图解等方法,分析影响边坡稳定性的各种因素、失稳的力学机制、变形破坏的可能方式等,可以简单直观地判断边坡的稳定状况和发展趋势。定量分析主要有解析法和数值法,虽然计算结果表现为确定的数值,但最终在一定程度上仍有依赖人为的判断。定性分析和定量计算,都应在获取详细资料的基础上,相互结合,进行综合论证,并宜采用多种方法进行比较。

5.1.3 边坡破坏模式可分为平面形破坏、圆弧形破坏、折面形破坏、楔形破坏、倾倒破坏和复合型破坏等多种形式。

在边坡稳定性计算之前,需要首先进行破坏模式和各项计算参数的确定工作。由于破坏模式和计算参数的确定会直接影响分析计算的结果和计算结果符合实际条件的程度。因此,该项工作是整个评价工作中一个十分重要的环节,应根据调查和试验结果综合分析研究确定。

5.1.4 极限平衡法是广泛应用的边坡稳定性计算方法,该方法以边坡的整体稳定性为研究对象,以确定性的物理力学参数作为计算参数,并以安全系数作为稳定性评价指标。此法在工程界已被广泛应用多年,对计算参数和安全系数的选用已具有较为成熟的经验。因此,在目前条件下极限平衡法仍然是边坡稳定分析计算

的主要方法。

以条分法为基础建立的力学分析模型是一种静不定问题,不同的假定而出现了许多边坡稳定性计算公式,使用者对此应有清晰的认识。计算公式在使用时应与一定的破坏模式相适应。表 2 列出了各种方法的理论基础和适用性。

表 2 各极限平衡方法特点和适用的滑动面形状

方 法	静态平衡条件		条间力		滑动面形态	
	力的平衡	力矩平衡	法向	切向	圆弧	非圆弧(折线)
简化毕肖普	不满足	满足	考虑	不考虑	适用	不适用
不平衡推力传递法	满足	不满足	考虑	不考虑	适用	适用
摩根斯坦-普赖斯法	满足	满足	考虑	考虑	适用	适用
萨尔玛法	满足	满足	考虑	考虑	适用	适用

在实际工程分析中,建议采用多种极限平衡方法进行对比分析,并尽量采用同时满足力和力矩平衡的方法,如萨尔玛法和摩根斯坦-普赖斯法。本规范附录 D 中给出了主要的计算公式。

5.1.5 数值法计算主要有有限元法、离散元法和快速拉格朗日法等方法。有限单元法考虑了边坡岩体的不连续介质特点,避免了极限平衡法将坡体视为刚体和过于简化边界条件的缺点,能够接近实际的分析边坡的应力场和变形场。有限元法解题步骤已系统化并形成了很多通用的电算程序,已经是成熟的计算方法。

鉴于此,本条提出对安全等级为 I 级的边坡进行有限元等数值法分析,对其他较低安全等级的边坡不作硬性规定。

5.1.6 渗流计算参数根据现场试验、室内试验和工程类比等方法确定。对于地质条件复杂的边坡,还可采用反演分析方法复核和修正。当边坡设置排水设施时,渗流计算应考虑边坡体排水措施对渗流场的影响。渗流分析的计算成果,包括地下水水面线、等势线、渗透坡降和渗流量等内容。

5.2 分析与计算

5.2.1 各边坡分区均应绘制计算剖面,确定边坡破坏模式和计算

方法,选定荷载组合和岩体及不连续面的抗剪强度等计算参数,进行稳定性计算。

对每一边坡分区计算后的安全系数低于设计安全系数的边坡,可采取放缓边坡角或采取必要的加固措施,以提高安全系数;对于计算后安全系数高于设计安全系数的边坡,可挖掘潜力,加陡该区坡角,减少岩石剥离量,提高矿山经济效益。

5.2.2 极射赤平投影法能将复杂的三维空间关系概化表示,是确定各结构面及其与边坡面组合关系的图解方法。工程类比法要求预测目标和参考目标遵循一定的可比性,工程地质条件和工程条件都应具有某些相似性。

5.2.3 附录 A.0.3 给出了边坡地质结构类型和可能的边坡破坏模式。确定破坏模式应考虑的地质因素包括:

1 岩性、岩体结构特征和工程地质岩组。

2 断层、岩层层面和优势结构面等地质构造的性状、分布及空间组合特征等。

3 采场边坡形成过程可能出现的顺坡向卸荷裂缝、张裂缝发育特征以及倾倒、蠕动变形特征。

4 下软上硬的双层或多层的层状岩体结构。

5 覆盖层分布特征、覆盖层与下覆岩层的界面特征以及岩体风化特征等。

5.2.4 在整个露天矿服务年限内,边坡一直受到生产爆破频繁而持久的影响,因此爆破振动荷载在荷载组合Ⅱ中作为基本荷载予以考虑。

5.2.5 对于地震烈度为 6 度或大于 6 度的地区,应考虑其影响进行边坡地震稳定性分析,通常的作法是对边坡采用拟静力法进行分析,只考虑滑动方向的水平地震力的作用。

5.2.7 选用参数时应注意岩体的非均质性、各向异性、参数测定方法、测定条件与工程原型之间的差异,参数随时间和环境的改变可能发生的变化等。

最终岩体力学参数的选用,宜在原位试验和室内试验的基础

上,通过工程地质类比和反演,进行综合分析确定。

5.2.14 本条所指敏感性分析是研究某一计算参量变化而其他参量保持不变时,边坡安全系数随该参量发生的变化率,从而反映边坡安全系数对该参量变化的敏感程度。

通过敏感性分析来研究各有关参数如坡高、坡角、地下水压、锚固力、抗剪强度等的改变对安全系数值的影响程度,对某些参数在试验或选取时可能存在的误差对计算结果的影响程度作出确切的估计。通过寻找敏感性强的不确定因素,可为分析边坡失稳原因的主控因素,优化工程设计提供依据。

5.3 评价与成果报告

5.3.1 由于岩体本身的复杂性和勘察工作所能获取信息的局限性,很难根据某一种计算分析的结果作出可靠的评价。多种方法计算分析的结果可相互补充和印证。熟悉现场的实际情况和已具有的工程经验有助于作出适宜的工程判定。只有全面考虑这些结果,进行综合评价,才可能提出合理的边坡角和稳坡措施的建议。

5.3.3 最优边坡角仅是满足边坡稳定性要求的边坡角,是按岩体工程评价准则确定的,而露天矿边坡最终采用的边坡角显然还会受到采矿工艺的很大制约。

5.3.4 稳定边坡的综合评价要考虑边坡加陡潜力的挖掘,而已有滑动迹象的岩体或滑坡稳定性综合评价应根据滑坡所处的构造部位,滑坡区的工程地质和水文地质条件,滑坡体的规模、位置,滑坡变形的主导因素、滑坡前兆以及稳定验算结果进行,并应分析发展趋势和危害程度,提出防治方案和建议。削坡减载、边坡支护对坡体稳定系数的提高可作为设计依据,而水的治理对坡体稳定性的提高仅作为坡体稳定的安全储备。

边坡治理工程,尤其是涉及预应力锚索等需要提供主动抗力的支挡结构的工程,须确定满足设计安全系数要求的抗力值或滑坡剩余推力,以便治理工程设计使用。

6 边坡监测

6.1 一般规定

6.1.1 边坡稳定是露天矿安全生产的重要条件之一,非煤露天矿边坡规模巨大,通常设计高度达几百米以上,最高超过 800m,影响露天矿边坡稳定的因素很多,如断层破碎带、软弱夹层、地下水和爆破振动等,矿山一直处在复杂的爆破、开挖和回采的动荷载作用过程中,边坡的动态特点非常显著。因此必须强调露天矿边坡以防为主的原则,加强监测和过程控制。

边坡变形监测是最基本的监测项目,可直接获取边坡信息,掌握边坡稳定状况,检验稳定性计算结果与边坡工程治理效果,对边坡变形发展趋势作出预测,是优化工程设计,确保边坡安全运行的重要手段。强制规定此条,对防止边坡失稳,预防安全事故,确保安全生产,提高经济效益和社会效益有重要意义。

6.1.2 应根据边坡安全等级、变形特点和控制要求选择监测内容和监测方法。

6.1.3 监测技术设计以获取监测信息为导向,通过合理的规划来保证监测目的的实现。监测技术设计的内容包括:监测项目、监测目的、监测方法、监测网点的布设、监测的精度、监测的周期以及报警值等。这些内容之间密切相关,在进行监测方案实施细则时应进行全面的考虑,例如,选择监测方法应该考虑到测量精度的要求、观测周期数和一周期内观测时间的确定、监测费用等。

6.1.10 边坡监测应及时整理和分析观测成果,施工期观测成果应及时反馈至设计、施工单位,以便对边坡开挖或治理的设计和施工方案进行及时调整和修改。

6.2 变形监测

6.2.1 测量观测网宜在开采初期即着手建立。对采场边坡进行的监测,宜用三等三角网和三等水准网进行控制。

初期的监测点可在境界线外不超过 50m 处设立,监测点可按 100m~200m 的间距环绕境界线分布。后期可根据需要,在关键地段及不稳定的平台上增设监测点。

6.2.2、6.2.3 地表位移监测采用光电测距仪、经纬仪、全站仪、GPS 等测量仪器测量岩体水平位移、垂直位移以及变化速率。

6.2.4 监测网由监测线和监测点组成,要求能形成点、线、面、体的全方位监测网,全面监测边坡的变形方位、变形量、变形速率、时空动态及发展趋势,满足监测预报的具体要求。应符合下列要求:

(1)基准点应布置在监测区范围外的稳定地段,每个监测网的基准点不得少于 3 个;

(2)工作基准点应布设在比较稳固和便于施测的部位;

(3)监测点应布设在变形体和受其影响的地段;

(4)监测点的布设应考虑勘察点的利用与对应;

(5)监测点一般不宜平均分布,应突出重点。对边坡稳定性起关键作用的部位以及境界线附近坡体区域,应重点控制;

(6)每个监测点应有自己独立的监测功能和预报功能。监测点的布设应做到有的放矢,充分发挥每个监测点的功效,便于进行多点组合分析;

(7)监测点宏观上应组成断面监测线(剖面),监测点要尽量靠近监测剖面,应尽可能控制在 5m 范围内,若受通视条件限制或因其他原因,亦可单独布点;

(8)当变形具有 2 个以上方向时,监测线(剖面)亦应布设 2 条以上,监测线(剖面)的方向应与预计的水平位移方向或已发生的位移方向一致或垂直。各监测线宜平行或正交,或呈辐射线状;

(9)监测线(剖面)应以绝对位移监测为主,并在剖面所经过的

裂隙、滑带上布设相对位移监测设施,构成多手段、多参数、多层次的综合性立体监测剖面。

6.2.5 当遇有下列特殊情况之一时应随时进行观测:

- (1)不明原因的变形速率增大;
- (2)暴雨之后;
- (3)久雨期间或之后;
- (4)爆破或地震之后;
- (5)其他意外情况。

6.2.8 深部位移监测用以指导防治工程的实施和效果检验。深部位移监测可采用平巷或钻孔进行观测。

钻孔深部位移监测系统总误差不超过 $\pm 5\text{mm}/15\text{m}$ 。钻孔应沿平行和垂直边坡位移方向布置,形成完整的剖面。每个剖面钻孔数量一般不宜少于3个,孔深深入可能滑动面以下 $3\text{m}\sim 5\text{m}$,孔径应符合安装观测仪器的要求。此外,深部滑带监测还可以采用时间域反射技术(TDR)和光纤应变监测系统,前者需要预埋同轴电缆,后者需要预埋光纤。

6.2.9 当边坡出现张裂隙,宜在裂隙两侧的岩体中埋设测桩,采用各种型式的地表伸长计测量滑体的位移。两次观测的间隔时间应随位移量的增大而缩短。接近破坏时,可使用能连续记录并能按规定的位移量或移动速度报警的地表伸长计实施监测。

6.3 应力监测

6.3.2 挡墙的监测点可按深度布置,间距为 $1\text{m}\sim 3\text{m}$,从底部向上深度的 $1/3$ 处应布点。压力传感器的埋设应符合下列要求:

- (1)回填物性状与周围岩土体保持一致;
- (2)传感器承压面与支挡结构物表面接触紧密,并保持与应力方向垂直;
- (3)传感器周边应设置柔性缓冲保护;
- (4)连接电缆按一定线路集中于观测站,并分别编号;

(5)锚杆和支护结构监测点应在受力点处布置。

6.3.4 压力计装置标定包括压力标定、温度标定和初始值标定。

6.3.7~6.3.11 边坡锚杆和锚索的拉力变化是边坡荷载的直接反应。预应力锚索因预应力的变化将受到边坡的变形和内在荷载的变化影响,故通过监控锚固体系的预应力变化可以了解被加固边坡的变形与稳定状况。监测设备一般采用圆环形测力计或电阻应变式压力传感器。长期监测的锚索数量,不应少于总数的5%。

预应力锚索预应力值异常波动时,应及时预警,并配合地表变形监测等其他监测项目进行综合评判。

6.4 振动监测

6.4.1 根据监测和测试结果,限定最大一段起爆药量指导采场边坡爆破生产和爆破振动危害控制,并获取边坡稳定性计算的爆破荷载参数。

6.4.2 质点振动速度和加速度的监测与测试,是相对成熟的方法,应用最多的是质点振动速度监测。《爆破安全规程》GB 6722也以爆破质点振动速度作为构筑物是否破坏的主要判据。

根据国内外矿山爆破振动实测数据分析和工程实践,一般维护边坡稳定的质点振动临界安全速度为20cm/s~30cm/s,如加拿大为12.7cm/s~30cm/s,苏联为20cm/s,大冶铁矿和南芬铁矿均为22cm/s。

6.4.5 计算坡面允许质点振动速度下的控制药量由下列公式计算。

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{\alpha} \quad (1)$$

式中:V——边坡质点振动速度(cm/s);

Q——爆破装药量,齐发爆破时取总装药量,分段延时爆破时取最大一段的装药量(kg);

R——爆破区药量分布的几何中心至观测点或建筑物、防护

目标的距离(m);

K 、 α ——与采场地质条件、岩体性质、爆破条件等有关的系数,由振动监测和测试数据获取。表 3 列出了 K 、 α 的参考值。

表 3 采场不同岩性的 K 、 α 参考值

岩 性	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

注:按本规范第 3.0.13 条规定取值。

6.5 降雨和地下水监测

6.5.4 本阶段水压计孔一般布置在境界线附近不受采掘影响的区域,以便进行地下水压长期监测。监测结果可提供地下水压升降幅度与季节变化及降雨量的关系,以及水位降深与采掘延深的关系。这些资料是进行地下水渗流计算的依据,也是进行反演计算的校核依据。地下水的动态监测可获得设置地点处的水压,及其随季节的变化和变化的最大幅值,并可确定水位降深与采掘延深的关系。在进行渗流计算时,设置地点处的水压数据及变化幅值可为确定地下水边界条件或为反演计算的校核提供依据。孔隙水压力仪布设的一般原则是将多个传感器分别埋设于不同观测点的不同深度处,形成一个观测剖面以观测孔隙水压力的空间分布。仪器埋设应以钻孔法为主。

6.5.5 水压监测可以测定岩体内部水压力及其变化幅度,其数据结合坡体渗流场的分析,用于确定边坡稳定性分析所需的地下水压力参数。另外还可以了解疏干效果,指导疏干措施的实施。水压计的类型有多种,包括立管式、机械隔膜式和电子式等类型。由于工程上要求水压计最重要的物理性能是其坚固性和长期可靠性,在矿山进行长期监测的条件下,通常可选用立管式水压计比较

经济和可靠。采用此类型水压计宜在一个钻孔不同深度的不同岩层中埋设多个水压计,以测定不同深度不同岩层的水压。

6.5.7 水压测量应定时进行,雨后应增加观测次数。观测资料应逐年整理,并绘制成水压和降水量随时间的变化曲线。

6.6 滑 坡 监 测

6.6.1 滑坡监测以施工安全监测和防治效果监测为主,所布网点应可供长期监测使用。在施工期间,监测结果应作为判断滑坡稳定状态、指导施工、反馈设计和防治效果检验的重要依据。

边坡治理工程结构的应力、应变的数据可通过在结构中布置应变计、应力计或钢筋计来获取,有条件时也可用压力盒对结构背面的岩土压力进行监测。另外可在典型的挡墙或抗滑桩中设测斜孔,采用钻孔测斜仪监测其挡墙或桩身位移情况。坡体应力应变可埋设钻孔电阻片、应力计、压力计进行监测。

6.6.2、6.6.3 滑坡监测方法的确定、仪器的选择,既要考虑到能反映滑坡体的变形动态,又要考虑到仪器维护方便和节省投资,还应考虑多种方法的验证和补充。

6.6.4 滑坡监测所采用的监测仪器必须具有仪器生产许可证、产品质量合格证。使用前须经过标定,并具有相应的质检报告。压力传感器依据结构和测量原理区分,类型较多,使用中应考虑传感器的量程与精度、稳定性、抗震及抗冲击性能、密封性等因素。

6.6.7 为掌握防治效果,应监测预应力锚索应力值的变化、抗滑桩的变形和岩土压力、排水系统的过流量等,以直接了解工程实施效果。

锚固工程应力监测可采用轮辐式压力传感器、钢弦式压力盒、应变式压力盒、液压式压力盒进行监测。

监测的时间间隔取决于坡体变形的速度,变形快者应间隔时间短,变形慢者间隔时间长,但在施工期和雨季应加密。为监测工程效果,一般工程完工后至少继续监测一个水文年。

6.6.8 如滑坡已趋于稳定,且工程扰动小,可适当降低观测频次。

6.6.9 监测数据的处理应施行电子化,包括建立监测数据库、数据和图形处理系统、趋势预报模型、险情预警系统等。滑坡监测设计应提供滑坡体险情预警标准,并在施工过程中逐步完善。

7 边坡靠帮过程控制与维护

7.1 一般规定

7.1.2 靠帮边坡采掘作业应严格按开采设计规定进行,不应超挖或欠挖。采掘完成后,应按技术标准和要求验收。

7.1.3 靠帮边坡控制爆破应优先采用斜孔预裂爆破。为进一步降低爆破振动影响,靠近最终边帮的生产爆破与预裂爆破之间宜采用缓冲爆破。缓冲爆破孔宜采用斜孔。

7.1.4 疏干系统应根据边坡含水体的地质特征、水力性质、渗透性能,不连续面与渗流带的空间分布等条件选择,并应兼顾矿山的安全与效益。

7.1.5 当边坡变形过大,变形速率过快,周边环境出现沉降开裂等险情时应暂停采掘施工,根据险情原因选用如下应急措施:

- (1)坡脚被动区临时压重;
- (2)坡顶主动区卸土减载,并严格控制卸载程序;
- (3)做好临时排水、封面处理;
- (4)对支护结构临时加固;
- (5)对险情段加强监测;
- (6)及时反馈信息并采取进一步的措施。

7.2 边坡靠帮过程控制

7.2.6 非煤露天矿山的台阶高度一般在 10m~15m,采用三并段时,并段高度达到 30m~45m,实践表明再增加并段高度会危及边坡安全,易造成较多的滑坡。边坡过高一旦塌滑处理起来比较困难,故建议设计中并段数目不宜超过 3 个。

7.3 靠帮边坡日常维护和变形控制

7.3.3 在边坡日常维护中,如巡视或监测发现边坡变形或失稳,应及时通报,停止作业,撤离人员和设备,在变形台阶上下设置警示标志,分析确定可能产生的滑坡类型,预测其发展趋势与危害。当危害较小,可纳入日常维护,采取相应的维护措施,诸如削(清)坡、截排水,以消除隐患。当不能对靠帮边坡不稳定岩体进行削坡减载时,可在稳定体下方靠近坡脚处预留永久性或临时性岩体支墩,以控制边坡变形和稳定坡体。当潜在滑移规模大和变形趋势明显,则要进行稳定性评价,按本规范第8章规定实施边坡治理工程。

7.3.4 根据荷载作用于边坡的距离及方向,一般在边坡顶部附近为受力敏感区域,故此范围内禁止设置各类设施,避免增加坡体敏感区域及其附近的荷载。在临近区域,一旦需要设置某种设施,也应根据边坡的形式、不连续面的产状、设施的重量等因素进行稳定性计算,谨慎确定。

8 边坡治理工程设计

8.1 一般规定

8.1.1 露天采场边坡治理工程设计是基于边坡稳定性分析计算的结果,当稳定程度不满足露天矿山边坡安全要求时应进行治理,尤其是边坡变形规模达几个台阶以上、在固定运输道路上方的边坡,应采取治理工程措施。治理工程设计应根据地形、地质条件,结合采矿工程的施工条件,因地制宜进行设计。

8.1.2 矿山边坡治理是一项综合的系统工程,为主动防治或减缓边坡的变形破坏,预防和排除其危害,要调查边坡变形破坏发生的过程和现状,查明变形破坏发生的原因和机理,提出多个预防和治理方案,进行比选,制定边坡治理工程的总体设计方案。

边坡治理工程处于露天开采剥离过程中已靠帮边坡上,场地条件陡峻狭小,工程设计要考虑矿山开采工艺影响,为此需要应采取快速有效的设计方案,除保证滑体治理后自身安全稳定,也要考虑终了边坡的稳定安全。安全系数应按本规范表 3.0.9 规定采用,但其荷载组合中应包括相应的加固力。

8.1.4 地下水对边坡稳定至关重要,统计表明,其影响程度一般可使总体边坡角计算值减缓 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。从某种意义上讲,“无水不滑坡”,所以“治坡先治水”,治水是改善边坡岩土物理力学性质的主要途径,也是滑坡治本思想的体现。

“削坡”一般指放缓边坡坡率而使边坡坡率适应于岩土的工程性质而保持稳定。“减载”是指在滑坡体的上部主滑段和牵引段挖去部分岩土以减轻滑体重量和滑坡推力的工程措施。削坡减载对稳定滑坡既经济又有实效,如果有条件反压坡脚,则效果更佳,尤

其当边坡产生变形时,此方案更应优先采用。当不具备条件,只能采取支挡工程时,更应做多方案的精心比对。锚杆加固是主动的抗滑措施,具有实用、经济、安全的特点,宜优先考虑。

边坡治理工程通常采用综合方法,且采用的技术、结构、工艺、材料必须成熟,坚持以防为主的原则,治理工程以排水和削坡减载为主要手段,是最切合实际的做法。

8.2 疏 排 水

8.2.1 边坡地表排水应符合下列要求:

(1)当滑体上存在地表水时,应尽快排走。在任何情况下不允许在坡脚及坡面上积水。如地表水须保留时,则应进行防渗处理;

(2)排水沟的断面形式宜采用矩形、梯形,筑沟材料因地制宜,优先采用浆砌块石,地面水泥砂浆抹平;

(3)坡面裂缝、松软土层均夯填密实,做好防渗;

(4)地表排水工程设计的地表汇水流量,按照下列公式计算:

$$Q_p = \Phi S_p F \quad (2)$$

式中: Q_p ——设计频率为 p 的洪峰流量(m^3/s);

Φ ——地表径流系数;

S_p ——设计频率 p 雨力(mm/h);

F ——截洪沟的汇水面积(km^2)。

5 排水沟(截洪沟)过流量按下列公式计算:

$$Q = WC\sqrt{Ri} \quad (3)$$

$$C = R^{1/6}/N \quad (4)$$

式中: Q ——过流量(m^3/s);

W ——过流断面面积,取水沟截面面积(m^2);

C ——流速系数(m/s);

R ——水力半径(m);

i ——水力坡降;

N ——粗糙系数。

6 最优断面选择按下列公式计算：

$$\frac{b_m}{h_m} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (5)$$

$$m = \cot \alpha \quad (6)$$

式中： b_m ——最佳水力断面的底宽(m)；

h_m ——水力最佳断面的水深(m)；

m ——水沟边坡系数；

α ——断面边坡线与水平线的交角。

8.2.2 在边坡、滑坡防治总体方案基础上,结合工程地质、水文地质条件及降雨条件,注意依坡就势,制定地表截排水、地下排水或者两者相结合的方案。当地质条件和水文条件复杂时,排水工程对边坡、滑坡稳定性系数的提高值可不作设计依据,但可作为安全储备加以考虑。

地下疏排水应视滑动面状况、滑体所在边帮汇水范围内水文地质结构及地下水动态特征,选用以下适宜的疏排水方案。

(1)当边坡体表层有积水湿地和泉水露头时,可将排水沟上端做成渗水盲沟,伸进湿地内,达到疏干湿地内上层滞水的目的；

(2)地下排水宜采用隧洞和钻孔排水,如前期勘察探矿留有平峒,可利用做排水平峒；

(3)坡体疏排水孔应深入穿过预测滑动面部位；

(4)渗水盲沟需用不含泥的块石、碎石填实,两侧和顶部设置反滤层；

(5)水平排水孔的位置和数量宜根据地下水分布的情况和地质条件而定,孔径可根据施工机具(钻机)和孔壁加固材料而定,通常为 100mm~150mm,坡度 10%以上；

(6)疏水孔壁采用 PPR 或镀锌钢管,排水段管壁须开孔并包裹土工布,或者直接用风将粗砂吹入孔内代替输水管。

8.2.3 排水方式分类及使用条件见表 4。

表 4 排水方式分类及使用条件

排水方式分类	使用条件
1. 自流排水方式	1)山坡型露天矿有自流排水条件,部分可利用排水平洞导通; 2)采场积水结冰,不适宜露天排水
2. 露天排水方式 1)采场底部集中排水系统 2)采场分段接力排水系统	1)集中排水主要适用汇水面积小,水量小的中、小型露天矿; 2)分段排水主要适用于汇水面积大、水量大的露天矿; 3)采场允许淹没高度大,采场不易结冰; 4)采场下降速度慢 (分段排水下降速度快)
3. 井巷排水方式 1)集中一段排水系统 2)分段接力排水系统	1)采场小,排洪泵布设困难; 2)水量大,新水平准备要求快; 3)需井巷疏干的露天矿; 4)深部有坑道可以利用; 5)采场积水结冰,不适宜露天排水
4. 联合排水方式	联合排水方式优于单一排水方式时

8.2.4 为减少地表水渗入边坡体,应在边坡潜在塌滑区后缘设置截水沟。边坡地表应设地表排水系统,其设计应考虑汇水面积、排水路径、沟渠排水能力等因素。不宜在边坡上或边坡顶部设置沉淀池等可能造成渗水的设施,必须设置时应做好防渗处理。

边坡的地表防水、截水和排水系统是边坡综合治理的重要组成部分,可结合坡面防护和边坡加固做好排水系统的规划布置。土质、堆积层和全、强风化岩质边坡易受降雨形成的地表径流冲刷,应做覆盖保护。

8.2.5、8.2.6 边坡工程支挡结构应设泄水孔。岩质边坡泄水孔宜优先设置于裂隙发育、渗水严重的部位。当潜在破裂面渗水严

重时,泄水孔宜深入至潜在滑裂面内。泄水孔的位置和数量应根据地下水分布的情况和地质条件确定,孔径可根据施工机具(钻机)和泄水管材料确定,通常为 100mm~150mm,外倾坡度不宜小于 5%。

挡墙泄水孔进水侧应设置反滤层或反滤包。反滤层厚度不应小于 500mm,反滤包尺寸不应小于 500mm×500mm×500mm;反滤层顶部和底部应设厚度不小于 300mm 的黏土隔水层。

8.3 削坡减载

8.3.1 在滑体治理中,通常需要的是在滑体主滑段挖方减少滑体下滑力,但在滑体下部前缘挖方会引起滑坡蠕动,加剧滑体的滑动。所以在滑坡及潜在滑坡区内未查清滑坡性质前不可盲目削坡。

削坡减载对于滑坡稳定系数的提高值可作为设计依据。

8.3.2 削坡减载应结合采矿工艺,当削坡高度较大时,削坡宜设置多级台阶,每级削坡高度宜与原台阶高度一致。采用爆破方法对后缘滑体或危岩进行削坡减载时,应对爆破振动对滑坡整体稳定性的影响作出评估,并应采取控制爆破。

8.3.3 实践经验表明,对已经滑动的边坡滑体,仅用减重而不结合排水和支挡工程的,大都不能长久稳定,几年或十数年后往往仍会滑动。其原因是对于滑动面已贯通的变形坡体,滑带土强度已很低,一般要同时配套实施地下排水措施以提高滑带土强度,或设置支挡加固工程增加其抗滑力。而对个别规模大、滑面贯通某一边帮的滑坡体,甚至要修改矿山开采设计。

8.4 锚杆

8.4.1 防腐处理应保证锚杆各段均不出现杆(索)体材料局部腐蚀现象。预应力锚杆防腐的处理方法也可采用:除锈→刷沥青船底漆→涂钙基润滑脂后绕扎塑料布再涂润滑油→装入塑料套管→

套管两端黄油充填。而对于设计采用无黏结钢绞线的锚索,则防腐设计的考虑要简单得多。

锚杆的防腐处理应符合下列规定:

(1)非预应力锚杆的自由段位于土层中时,可采用除锈、刷沥青船底漆、以层数不少于 2 层的沥青玻纤布缠裹。

(2)对采用精轧螺纹钢、钢绞线制作的预应力锚杆,其自由段可按本条 1 款进行防腐蚀处理后装入套管中;自由段套管两端 100mm~200mm 长度范围内用黄油充填,外绕扎工程胶布固定。

(3)对位于无腐蚀性岩土层内的锚固段应除锈,砂浆保护层厚度应不小于 25mm。

(4)对位于腐蚀性岩土层内的锚杆锚固段和非锚固段,应采取特殊防腐蚀处理。

(5)经过防腐蚀处理后,非预应力锚杆的自由段外端应埋入钢筋混凝土构件内 50mm 以上;对预应力锚杆,其锚头的锚具经除锈、涂防腐漆之后应采用钢筋网罩、现浇混凝土封闭,且混凝土强度等级不应低于 C30,厚度不应小于 100mm,混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

8.4.2 当边坡较高或边帮上布置有重要运输线路、构筑物时,一般不允许支护结构发生较大变形,此时采用预应力锚固能有效控制支护结构及边坡的变形量,有利于构筑物的安全。对施工期稳定性较差的边坡,一般在变形初期,虽出现后缘张拉裂缝或下错,但总体未形成贯通滑面,抗滑段仍具有较大抗力,采用预应力锚固减少变形同时增加边坡滑裂面上的正应力及阻滑力,有利于边坡稳定,可实现加固工程量小,节约工程投资的目的。

当边坡稳定要求的总抗滑力和锚固深度已知时,设计采用的预应力锚杆张拉荷载、间距等应进行技术、经济对比选用。实际经验证明,设计单体锚固力过大将使施工难度增大,若设计单体锚固力较小,钻孔间距必然加密,造成钻孔、灌浆等工作量加大。预应力锚索与钢筋混凝土梁、肋、框架梁、墙、桩联合作用的抗滑结构在

国内外矿山边坡治理中使用较普遍,效果较好。

8.4.4 锚杆材料可根据锚固工程性质、锚固部位和工程规模等因素,选择普通钢筋、高强度精轧螺纹钢筋、预应力钢丝或钢绞线。预应力锚索材料宜采用低松弛高强度钢绞线加工。预应力锚索设置必须保证达到所设计的锁定锚固力要求,同时必须保证预应力钢绞线有效防腐,避免因钢绞线锈蚀导致锚索失效。

8.4.5 锚杆设计宜先按公式 8.4.5-4 计算所用锚杆钢筋的截面积,然后再用选定的锚杆钢筋面积按公式 8.4.5-3 和公式 8.4.5-5 确定锚固长度 l_a 。计算采用过长的锚固长度,并不能有效提高锚固力,公式 8.4.5-3 应用必须限制计算长度的上限值。

锚杆杆体与锚固体材料之间的锚固力一般高于锚固体与土层间锚固力,因此土层锚杆锚固段长度计算结果一般均为公式 8.4.5-3 控制。一般土层锚杆的锚固段长度不应小于 4m;岩石锚杆的锚固段长度不应小于 3m。

极软岩和软质岩中的锚固破坏一般发生于锚固体和岩层间,硬质岩中的锚固段破坏会发生在锚杆杆体与锚固体材料之间,因此岩石锚杆锚固段长度应分别按公式 8.4.5-3 和公式 8.4.5-5 计算,取其中大值。软质岩中的预应力锚索可根据地区经验确定最大锚固长度,当计算锚固段长度超过上述数值时,应采取改善锚固段岩体质量、改变锚头构造或扩大锚固段直径等技术措施,提高锚固力。

当滑坡体为堆积层或土质滑坡,预应力锚索应与钢筋混凝土梁、框架梁或抗滑桩等联合使用。

8.4.6 应注意两种情况:

计算出的最优锚固角有可能是向上的仰角或要求的锚固深度偏大的方向,从而导致施工难度增加,工程量增大。对此,一般可采用以下方法解决:

(1)根据地形地质和潜在滑面埋藏情况,在保证提供等效总锚固力的前提下,尽量将锚索均匀布置在滑面埋深浅、滑动面下岩体

较完整地段。

(2)结合施工条件选择最经济锚固角和相应锚索长度。所谓最经济锚固角要考虑施工成本和工期,上仰角可能是最优锚固角,但常常不是最经济锚固角,由于施工困难,灌浆质量难以保证,提供的锚固力不足。锚索设计时一般为向下俯角 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,然后再计算所需锚固工程量。

国内外的实践和研究证明,传统的集中受力型锚索锚固段应力的分布是不均匀的。正常工作条件下的预应力锚索,拉应力或剪应力主要分布在锚固段的前端,锚固段的破坏是渐进式的,临近破坏时拉应力或剪应力集中在锚固段与自由段分界处,因此一般认为真正起作用的锚固段长度在 $5\text{m} \sim 6\text{m}$ 左右。近几年锚固段结构设计类型出现了拉力分散型、压力分散型,把应力分布到整个锚固段上,特别是对软质岩石、松散破碎岩土体,分散型预应力锚索锚固段受力条件得以改善,可靠性提高。

8.5 喷 锚 支 护

8.5.1 喷射混凝土应重视早期强度,通常规定一天龄期的抗压强度不应低于 5MPa 。喷射混凝土与岩面粘结力试验应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 的有关规定。

8.5.2 喷锚支护对边坡尤其碎裂结构或散体结构边坡,具有良好的效果且费用低廉,喷锚支护中,锚杆起主要承载作用,面板用于限制锚杆间岩块的滑塌。喷锚支护中锚杆有系统加固锚杆与局部加强锚杆两种类型。系统锚杆用以维护边坡整体稳定,可按直线滑裂面型的极限平衡法计算。局部锚固用以维持不稳定块体,采用赤平投影法或块体平衡法计算。

8.5.4 相对于露天矿高边坡,针对局部不稳定块体抗力计算与设计的喷锚支护,在设计和校核边坡整体稳定时,喷锚支护提供的抗力仅仅属于局部的、台阶的,所以不必考虑。

8.6 抗 滑 桩

8.6.1 抗滑桩在非煤露天矿治理工程中应用有其局限性,这是由特殊的矿山边坡条件和抗滑桩特点所决定的:

- (1) 边坡高陡,且多为岩质边坡,抗滑桩人工开挖较为困难;
- (2) 露天矿山多并段开采,平台宽度设置一般小于 6m,布桩困难,桩后被动抵抗能力有限;
- (3) 露天开采逐级向深部延伸,抗滑桩有效支挡深度有限,地基应力变化与桩受力机理复杂,难以控制;
- (4) 长期受露天开采爆破振动影响,造成抗滑桩桩周围岩强度衰减,降低抗滑桩的抗滑移能力。

抗滑桩要求地基具有足够的侧向承载能力,桩前能提供可靠的抗力,利用岩体的整体性和有效传力特点,抗滑桩的排列可有一定灵活性。可以适当选择滑面埋藏较浅,或下盘岩体完整,或易于施工的位置布置抗滑桩,但是要保证边坡抗力分布均匀,避免偏心力的作用。

抗滑桩的长度由滑动面上、下两部分组成,滑动面以上的长度以保证滑体不会越桩顶滑出为原则,应进行越顶验算。越顶和桩长过长表明缺少对桩长的合理设计。埋于滑动面以下的长度,除满足不超过岩土体允许的弹性抗力外还应考虑滑动面是否有向下发展的可能,以确保桩基的稳定。

关于桩长,有些标准认为不宜超过 35m。现在已有不少滑坡的抗滑桩桩长超过 35m,一般在 40m 左右,因此作相应规定。嵌固段长度应根据桩的承载状态和地基抗力系数确定。根据经验,在土层或软质岩层中的嵌固段长度一般为 $1/3 \sim 1/2$ 桩长;在坚硬岩石中嵌固深度一般为 $1/4$ 桩长。鉴于目前抗滑桩技术已有许多发展,如锚索抗滑桩、抗滑钢架桩、桩洞联合结构等,嵌固段长度应专门验算,以悬臂式抗滑桩加固的滑坡深度不宜超过 25m。

8.6.2 本条规定如下:

3 滑坡推力是作用在抗滑桩上的主要外力,其大小通过极限平衡计算决定。国内采用的推力传递系数法,其作用方向平行于桩以上的一段滑动面,其分布图式一般是从滑动面到桩顶范围按矩形分布,目前设计上以采用矩形分布较合适。

桩前滑体对桩的作用力一般采用剩余抗滑力(桩在抗滑段时)和被动土压力二者中的较小值,用剩余抗滑力时其分布图式为矩形,用被动土压力时为三角形。当桩前滑体有可能滑走时则不考虑桩前抗力。

6 抗滑桩一般设计矩形断面,也有用椭圆形断面,其短轴方向与岩土体滑动方向正交;当滑动方向不确定时,可采用圆形断面。桩的直径或矩形截面短边一般为潜在滑体厚度的 $1/10$ 左右,矩形截面一般宽 $1.5\text{m}\sim 3.5\text{m}$,长 $2.0\text{m}\sim 5.0\text{m}$ 。

抗滑桩与一般基础结构的桩不同,它要求有较大的截面和相应的刚度。在我国较普遍采用的是人工挖孔灌注钢筋混凝土矩形桩,为施工方便其截面面积多在 3m^2 左右;钢管桩或工字形钢板桩在矿山边坡堆积层滑坡有时应用,多应用于应急抢险的滑坡前期治理。

8.6.3 锚拉桩有以下优点:

1 锚拉桩改变了普通桩的受力状态,减小了桩身弯矩和剪力,故而减少了桩的截面和埋深,节省了材料和造价。

2 锚索控制了桩头的位移量,变普通桩的被动受力为主动受力,减少了滑体和桩体位移量,对保持滑带或潜在滑带的强度大有益处。

8.7 框架梁锚固

8.7.1 现浇钢筋混凝土框架形式,可采用矩形和菱形,框架梁水平间距应小于 5.0m ,钢筋混凝土框架梁可置于边坡坡面上。

8.7.2 锚杆应采用 $\Phi 25 \sim \Phi 40$ II 级螺纹钢加工,长度宜为 4m 以上,全黏结灌浆,并与钢筋笼点焊连接。若岩土体较为破碎和易溜滑时,可采用锚管加固,锚管用 $\Phi 50$ 钢管加工,全黏结灌浆,注浆压力宜为 0.5MPa~1.0MPa,并与钢筋笼点焊连接。锚管埋置在浆砌块石框架梁中。 $\Phi 50$ 钢管设计拉拔力可取为 100kN~140kN。

8.8 挡 墙

8.8.1 本条说明如下:

2 受采场边坡台阶并段、平台设置等露天采场特有的开采条件限制,选择墙背与坡面紧贴的仰斜式挡墙较为合理,当拟设挡墙基础平台宽度有限、软弱结构面发育或处于边帮中上部时,宜采用锚杆挡墙。露天矿边坡单台阶高度一般为 12m,所以单级重力式挡墙也不宜大于 12m。

3 重力式抗滑挡墙所使用的块石强度等级不应低于 MU30,砂浆强度等级不低于 M7.5,混凝土强度等级不低于 C15。按容许应力法计算,石砌体的容许应力应按表 5 选取,混凝土的容许应力应按表 6 选取。

表 5 石砌体的容许应力(MPa)

水泥砂浆 等级	压应力 σ			剪应力 τ	
	片石砌体	块石砌体	粗料石砌体	平缝	错缝
M5	0.8	—	—	—	—
M10	1.3	2.0	3.4	0.16	0.24
M20	1.8	2.4	3.7	0.23	0.34

注:1 列表水泥砂浆强度等级之间的石砌体的容许应力可用内插法确定。

2 石砌体的容许弯曲拉应力值,可用剪应力值。

3 石料应采用不易风化的石块,其极限抗压强度片石和块石不得小于 30MPa,粗料石不得小于 40MPa。

表 6 混凝土的容许应力(MPa)

应力种类	混凝土强度等级				
	C30	C25	C20	C15	C10
中心受压 σ_c	9.0	7.6	6.1	4.6	2.8
弯曲受压及 偏心受压 σ_b	11.2	9.5	7.8	6.1	4.3
弯曲拉应力 σ_{bl}	0.55	0.10	0.43	0.36	0.29
纯剪应力 σ_τ	1.10	0.99	0.86	0.71	0.56
局部承压应力 σ_{cl}	$6.4 \sqrt{\frac{A}{A_c}}$	$5.4 \sqrt{\frac{A}{A_c}}$	$4.4 \sqrt{\frac{A}{A_c}}$	$3.4 \sqrt{\frac{A}{A_c}}$	$2.4 \sqrt{\frac{A}{A_c}}$

注:1 片石混凝土的容许压力应与混凝土同,片石用量不应大于总体积的 20%。

2 A 为计算底面积, A_c 为局部承压面积。

4 采用锚杆挡墙加固破碎台阶坡顺坡滑移或楔形体滑移,对遏制台阶变形发展具有锚固和嵌补双重作用。

5 挡墙泄水孔的坡度为 4%~5%,向墙外为下坡,其进水侧应设置反滤层,厚度不得小于 0.3m,或采用土工布包扎。在最低一排泄水孔的进水口下部应设置隔水层。在地下水较多的地段或有大股水流处,应加密泄水孔或加大其尺寸,其出水口下部应采取保护措施,且最下一排泄水孔的出水口应高出平台不小于 200mm。

8.8.2 挡墙的验算内容包括抗滑移、抗倾覆、基底应力和墙身截面等检算,尤其地基稳定性验算需考虑下部台阶爆破开挖和顺坡结构面变形的影响,挡墙基础埋置深度必须根据边坡变形、承载力、抗滑稳定性、挡墙抗倾覆稳定性、岩石风化程度以及流水冲刷计算确定。重力式抗滑挡墙基础必须置于滑动面以下深度:当滑床为土层时,深度为 1.5m~2.0m;当滑床为岩层时,深度为 0.5m~1.0m。

8.9 其他治理方法

8.9.1 注浆加固适用于以岩石为主的滑坡、崩塌堆积体以及松动

岩体。对于造成边坡变形增大的张开型岩石裂缝和软弱层面,宜辅助采用注浆加固。注浆加固目的在于通过注入水泥(砂)浆,以固结开裂岩或堆积体,从而提高其整体稳定性。

注浆用以改良岩土体性质提高其强度在滑坡治理中广泛应用,但由于滑带土含水量较高且多呈软塑状的黏性土,水泥砂浆的可灌性很差,常常是孔隙大的滑体中进了浆,而要加固的滑带进浆甚少、效果不佳。对于上述情况,可采用“微型桩群加固”予以解决。注浆时应该采取必要的边坡监测和预防边坡失稳的措施,当边坡发生变形或坡面隆起时应该立即停止注浆。

8.9.2 对于利用勘探洞和施工支洞或与排水洞结合的锚固洞塞应作为辅助措施对待,经抗弯、抗剪、抗拉计算验证后,与其他抗滑加固措施一起进行抗滑稳定分析计算。锚固洞塞适用于需要加固的坚硬、较完整的岩质边坡。锚固洞塞轴线一般为水平或略向内侧倾斜,洞内现浇钢筋混凝土,轴向平行滑动方向,为施工方便及保证质量,可向边坡内侧倾斜设计成斜洞状。

8.9.3 主动柔性防护系统直接设置在台阶坡面。应充分考虑其围护功能、坡面加固功能、限制落石运动功能、防腐寿命、防护落石的大小等因素进行型号的选择。被动柔性防护系统一般设置在平台外侧,应充分考虑落石的撞击能量的大小而选择合适能级的被动网型号。

9 边坡治理工程施工

9.1 一般规定

9.1.1 边坡工程应根据其安全等级、边坡环境、工程地质和水文地质等条件编制施工方案。施工方案应依据设计方案,结合边坡的具体工程条件及设计的基本原则,采取合理可行、行之有效的综合措施,在确保工程施工安全质量可靠的前提下加快施工进度。采场边坡治理工程施工往往涉及削坡、排水、锚固等各工序内容,因此要把握以下几点:

(1)如采用临时性排水措施时,注意排水措施应满足地下水、暴雨和施工用水等水的排放要求,有条件时宜结合边坡工程的永久性排水措施进行。此外,还应注意任何时候特别是在边坡工程实施期间严格禁止在边坡潜在塌滑区超重堆载,以防危及边坡稳定和安全。

(2)削坡减载施工采用机械与人工结合,应根据边坡的稳定条件选择安全的开挖方案,采用“由上而下、分步施工”的工法,削坡后应及时按设计实施支护。

(3)削坡和锚固工程的钻孔过程都是对边坡工程地质信息和水文地质信息二次揭露的再认识过程,勘察设计人员利用施工揭示的信息,校核原有资料和设计,做到信息化施工与动态设计相辅相成,可以准确分析判定边坡稳定性,更好地指导施工经济可靠进行。

9.2 施工组织设计

9.2.1 矿山边坡治理施工受边坡环境、生产环境条件制约,制定有针对性的施工组织设计是保证边坡稳定、施工安全和加快工程

进度的首要工作,同时边坡工程施工组织设计要贯彻实施设计意图、执行规范,确保工程质量,指导施工的主要技术文件,施工单位应认真编制,严格审查,实行多方会审制度。采用信息施工法时,边坡工程组织设计尚应反映信息施工法的特殊要求,及时反馈有关信息,以便优化完善工程设计。

9.3 信息化施工

9.3.1、9.3.2 信息施工法的基本原则应贯穿于施工组织设计和现场施工的全过程,使监控网、信息反馈系统与动态设计和施工活动有机结合在一起,不断将现场工程地质与水文地质等变化情况反馈到设计和施工单位,以调整设计与施工参数,指导设计与施工。

信息施工法可根据其特殊情况或设计要求,将监控网的监测范围延伸至相邻建(构)筑物或周边环境,以便对边坡工程的整体或局部稳定作出准确判断,必要时采取应急措施,保障施工质量和顺利施工。

10 工程检测与验收

10.1 一般规定

10.1.2 施工单位应在每道工序完成后进行相应的自检,并做好隐蔽工程记录。应按分项、分部、单位工程和工程项目逐级评定。不合格时,不能进入下道施工工序,重要的中间工程和隐蔽检查应有建设单位代表、工程监理人员和设计代表共同参加检查验收。

10.1.3 工程验收应检查竣工档案、工程数量和质量,填写工程质量检查评定表,评定工程质量。

10.2 质量检验和工程检测

10.2.2 本规范强调边坡治理工程质量检验和工程检测的重点为锚杆等锚固工程,在采场边坡治理工程中削坡减载、截排水已纳入到采场靠帮边坡日常维护,而抗滑桩较少采用,框架梁锚固常与锚杆联合实施。锚杆作为锚固工程往往针对具有一定危害性的且其他常规生产措施不能消除的重要边帮部位,工程专业性强、工艺复杂并有一定技术难度,常由专业队伍实施,因此质量检验和检测是工程验收的主要步骤。

隐蔽工程检验和检测在工程实施过程中往往采取事前材料等的检验、事中的关键工序检查和质量控制、事后的工程检测等方面。工程中对锚索锁定的荷载检验,是控制施工是否满足设计要求和质量检验的重要一环。采取方法有以下两种:

1 超张拉检测宜随机抽取锚索总数的 10%~20%进行,张拉力为设计锚固力的 120%。若工程重要时,可对所有锚索进行设计锚固力的 120%超张拉检测。

2 为检测锚索预应力的损失,在每级预应力锚索外锚头选

2束~3束锚索在锚头下安装应力计,在施工完成后段时期(一般设一年)定期监测,根据其应力变化判断分析锚索预应力损失或升高的原因,评价工程质量与边坡稳定状况。

10.3 验 收

10.3.2 施工单位在全面完成所承包的工程后,经监理工程师同意,向建设单位提出申请,经建设单位核实,项目具备验收条件后,进行初步验收。未经初步验收的项目不得交付使用。初步验收不合格的项目不得报请竣工最终验收。

11 安全与环保

11.1 安 全

11.1.1 矿山边坡安全管理应坚持“预防为主”的原则,安排专人负责边帮日常管理工作,边帮的松石或裂隙有引起塌落或片帮危险时,应及时处理,作业人员应佩戴安全装置,安全带、安全绳等应系牢。

11.1.3 非煤露天矿边坡尺度高大,而采掘作业又在边坡下方进行,因此,边坡破坏的危害很大,必须对边坡的安全管理严格要求。在边坡破坏发生前有征兆出现时,应立即停止影响区生产作业,撤出相关人员和设备,设立警示标志。

本条规定关系到人民生命财产安全,因此列为强制性条文。

11.1.5 采掘工程中的并段是危险性较大的工程,并段台阶高度大,平台十分狭窄,设备调度频繁,作业人员密集,极易发生事故。

11.2 环 保

11.2.1 本规范对于露天矿山环保问题主要指边坡裸露与破坏和抽排水等引起的环境问题,露天矿边坡工程既要考虑边坡的稳定,还应注意工程建设对环境的影响,使人与自然和谐,工程与环境协调,实现可持续发展。

11.2.2 我国地域辽阔,不同地区的自然环境和气象条件差异较大,故在进行边坡环保设计时,应因地制宜进行绿化和生态恢复。在南方多雨地区,植被的恢复相对来说比较容易。西部地区因为降雨较少,可以选择当地的比较耐旱的植物,北部地区则要选择速生耐寒的植物。设计时要根据实际情况,充分搜集当地资料后提出设计方案。

11.2.3 随着露天矿山的终了闭坑或露天转井下开采,靠帮边帮通过绿化、喷播进行复垦,推行绿色标准和生态环境乡土化,开辟为矿山公园等,可以形成特有的矿区地貌景观,与生态环境相适应,在安全保证的前提下,建成以生态、教学与旅游为特色的旅游区。国内一些矿山已经在朝着这个方向发展。矿山的生态恢复与当地的总体规划不仅要从感观上协调一致,更要有利于提升矿山土地的再利用价值。矿山的采后生态恢复方案设计时,应先搜集当地规划部门的相关资料,再进行有针对性的设计。

S/N:1580242·501



9 158024 250107 >



统一书号: 1580242·501

定 价: 27.00元